UNIVERZA V LJUBLJANI

Fakulteta za strojništvo

Krivljenje aluminijaste pločevine za namen izdelave fotografske kasete

Diplomsko delo Visokošolskega strokovnega študijskega programa I. stopnje Strojništvo – Projektno aplikativni program

Jakob Katrašnik

Ljubljana, avgust 2024

UNIVERZA V LJUBLJANI

Fakulteta za strojništvo

Krivljenje aluminijaste pločevine za namen izdelave fotografske kasete

Diplomsko delo Visokošolskega strokovnega študijskega programa I. stopnje Strojništvo – Projektno aplikativni program

Jakob Katrašnik

Mentor: izr. prof. dr. Tomaž Pepelnjak

Ljubljana, avgust 2024

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za strojništvo

Aškerčeva cesta 6
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon: (01) 47 71 200
faks: (01) 25 18 567
dekanat@fs.uni-lj.si

PRIJAVA TEME ZAKLJUČNEGA DELA

Študent: Jakob Katrašnik

Študijski program: Visokošolski strokovni študijski program prve stopnje Strojništvo - Projektno aplikativni program

Številka teme zaključnega dela: VS I/1316

Naslov teme zaključnega dela v slovenskem jeziku: Krivljenje aluminijaste pločevine za namen izdelave fotografske kasete

Naslov teme zaključnega dela v angleškem jeziku: Bending of aluminium sheet metal for the purpose of making photographic holders

Dispozicija zaključnega dela:
Za potrebe analognega fotografiranja s starejšimi fotoaparati na meh potrebujemo fotografske kasete, le te so namenjene prenašanju fotografskega medija iz temnice na teren. Pomembno je, da ne prepuščajo svetlobe v kaseto in hkrati omogočajo enostavno odpiranje v temnici, kjer iz kasete lahko izmenjamo fotografski material, ter odpiranje v fotoaparatu med fotografiranjem, tako da lahko na medij zajamemo fotografijo. Navedene specifične zahteve povečajo kompleksnost kaset.

Danes takih kaset ne izdelujejo več, originalne pa so vedno v slabšem stanju, zato je treba v nalogi razviti postopek in način izdelave novih kaset za take fotoaparate. Ustrezati morajo specifikacijam in standardom originalnih kaset, da se bodo ustrezno prilegale v obstoječe velikoformatne fotoaparate.

Za izdelavo bomo uporabili aluminijevo pločevino, zaradi česar moram primarno razviti postopek krivljenja pločevine v pravilno obliko kasete. Za to so zaradi kompleksnosti oblik potrebna posebna krivilna orodja in priprave za izdelavo novih kaset.

Mentor: izr. prof. dr. Tomaž Pepelnjak

Datum odobrene teme: 06.06.2024

UNIVERZA V LJUBLJANI Fakulteta za strojništvo 1 Ljubljana

TOMAZ PEPELNJAK

Digitally signed by TOMAZ PEPELNJAK
DN: C=SI, O=UL FS + OID.2.5.4.97=VATSI-28118081, SERIALNUMBER=298934 + G=TOMAŽ + SN=PEPELNJAK + CN=TOMAZ PEPELNJAK
Reason: digitalno podpisan dokument
Location: Ljubljana
Date: 2024-06-28 13:11:10
Foxit Reader Version: 9.6.0

Opomba: Zaključno delo je treba oddati v jezikovno in terminološko pravilnem slovenskem jeziku. Rok za oddajo zaključnega dela v informacijski sistem VIS je šest mesecev od odobrene teme.

Zahvala

Zahvaljujem se svojemu mentorju izr. prof. dr. Tomažu Pepelnjaku za vso strokovno pomoč in usmerjanje pri izdelavi diplomskega dela.

Zahvaljujem se tudi celotni svoji družini za vso podporo in spodbude pri pisanju diplomskega dela.

Na tem mestu bi se še posebno rad zahvalil svojemu atiju, ki je vložil veliko ur za pomoč in konzultacije pri vseh vidikih mojega diplomskega dela, od same konstrukcije do izdelave orodij. Njegova pomoč pri demonstraciji uporabe strojev, napotkih za njihovo pravilno uporabo in nenazadnje tudi pri krivljenju pločevine je bila neprecenljiva.

Zahvaljujem se tudi podjetju Kvader MT d.o.o. za konzultacijo in pripravo vzorcev pločevine in podjetju Ravne Steel Center d.o.o. za doniranje jekla za izdelavo enega od orodij.

Izvleček

UDK 672.41:621.735.2:771.333(043.2)

Tek. štev.: VS I/1316

Krivljenje aluminijaste pločevine za namen izdelave fotografske kasete

Jakob Katrašnik

Ključne besede: pločevina
krivljenje
modeliranje
izdelava orodja
fotografske kasete

Proizvajalcev velikoformatnih fotografskih kaset, izdelanih po evropskih standardih, zaradi kompleksne narave izdelave kaset ni več. Starejše kasete pa so v vedno slabšem stanju in vedno bolj nezanesljive, kar povzroča, da postajajo drugi formati v primerjavi z omenjenim formatom bolj priljubljeni za uporabo.

Zasnovali smo potek krivljenja in izdelali ustrezna orodja za izvedbo krivljenja pločevine za namen izdelave fotografske kasete.

Ugotovljeno je bilo, da so fotografske kasete kompleksni izdelki, za katere je težavno izdelati enostavna orodja. Krivljenja smo kljub temu izvedli uspešno ter tako izdelali funkcionalno fotografsko kaseto, ki ustreza vsem specifikacijam.

Abstract

UDC 672.41:621.735.2:771.333(043.2)

No.: VS I/1316

Bendig of aluminum sheet metal for the purpose of making photographic holders

Jakob Katrašnik

Key words: sheet metal
bending
modeling
tool manufacture
photographic holders

Large format photographic holders manufactured according to European standards are no longer produced due to the complex nature of their manufacturing process. Older holders are deteriorating and becoming increasingly unreliable, which is causing other formats to become more popular in comparison to mentioned format.

We have designed a bending process and created the necessary tools for bending sheet metal to produce photographic holders.

It was found that photographic holders are complex products, making it challenging to create simple tools for their production. Despite this, we successfully completed the bending process and manufactured a functional photographic holder that meets all specifications.

Kazalo

Kazalo slik xiii

Kazalo preglednic xv

Seznam uporabljenih simbolov xvii

Seznam uporabljenih okrajšav xix

1 Uvod 1

1.1 Predstavitev osnov 1

1.2 Ozadje problema 1

1.3 Cilji 2

2 Teoretične osnove in pregled literature 3

2.1 Teorija upogibanja 3

2.1.1 Deformacije pri upogibanju 3

2.1.2 Preoblikovalnost pločevine 4

2.1.3 Elastično izravnavanje 5

2.1.4 Dolžina razvite pločevine 5

2.1.5 Sila upogibanja 7

2.2 Izbira materiala 9

2.3 Izbira površinske zaščite 10

3 Metodologija raziskave 13

3.1 Konstruiranje in izdelava 3D modelov komponent kasete 13

3.1.1 Pomembne dimenzije kasete 13

3.1.2 Upoštevanje funkcionalnosti in postopkov izdelave v modeliranju komponent 15

3.1.3 Razvite pločevine komponent in razrez pločevine 17

3.2 Konstruiranje in izdelava krivilnih orodij 18

3.2.1 Uporabljeni stroji in njihovo delovanje 19

3.2.2 Priprava materiala 20

3.2.3 Delovanje in izdelava orodij za krivljenje ohišja 23

3.2.4 Delovanje in izdelava orodja za krivljenje vložka 26
3.2.5 Delovanje in izdelava orodja drsnika 28
3.2.6 Omejevalci krivilnih orodji 30
3.3 Krivljenje komponent 30
3.3.1 Krivljenje ohišja 30
3.3.2 Krivljenje vložka 32
3.3.3 Krivljenje drsnika 33
3.4 Spajanje pločevine 34
3.5 Površinska zaščita komponent 36
3.6 Sestavljanje komponent v izdelek 36
3.7 Testiranje kasete 37
3.7.1 Ustreznost dimenzij in videz kasete 37
3.7.2 Testiranje s fotografskim medijem 37

4 Rezultati 41
4.1 Rezultati krivljenja 41
4.2 Rezultati s fotografskim medijem 42

5 Diskusija 45

6 Zaključki 47

Literatura 49

Kazalo slik

Slika 2.1: Deformacije in pomembne dimenzije upogibanja [1]. 4
Slika 2.2: Nastanek razpok pri prevelikih deformacijah [3]. 4
Slika 2.3: Koraki krivljenja in elastično izravnavanje [3]. 6
Slika 2.4: Vpliv r_2/s_0 na faktor elastičnega izravnavanja K [2]. 6
Slika 2.5: Dimenzije določanja razvite dolžine [1]. 7
Slika 2.6: Razdalja krivljenja pri V krivljenju [4]. 8
Slika 2.7: Razdalja krivljenja pri L krivljenju [4]. 9
Slika 2.8: Sila upogibanja v odvisnosti od poti pestiča [1]. 9

Slika 3.1: Pomembne dimenzije naseda na fotoaparatu [9]. 14
Slika 3.2: Pomembne dimenzije kasete [10]. 15
Slika 3.3: Uporaba vzmeti kot način fiksiranja stekla [11]. 16
Slika 3.4: Lotan spoj na kaseti [10]. 16
Slika 3.5: Prerez zakrivljenega ohišja [10]. 17
Slika 3.6: Neobdelan surovec [10]. 21
Slika 3.7: Rezkan surovec [10]. 22
Slika 3.8: Brušen surovec [10]. 22
Slika 3.9: Postopno krivljenje ohišja [10]. 23
Slika 3.10: Izdelan distančni vijak na CNC stružnici [10]. 24
Slika 3.11: Izdelava elektrode za potopno erozijo [10]. 24
Slika 3.12: Vtisnjena vdolbina na originalni kaseti [10]. 25
Slika 3.13: Test vtisnjevanja s 3D tiskanimi orodji [10]. 25
Slika 3.14: Končno orodje za krivljenje ohišja [10]. 26
Slika 3.15: Prikaz stopničastega orodja [10]. 27
Slika 3.16: Prikaz stopničastega zapogiba vložka [10]. 27
Slika 3.17: Obdelava z žično erozijo [10]. 28
Slika 3.18: Zaključeno orodje za krivljenje drsnika [10]. 28
Slika 3.19: Prikaz zapogiba drsnika [10]. 29
Slika 3.20: Prikaz oblike drsnika [10]. 29

Slika 3.21: Uporabljeno orodje za krivljenje drsnika [10]. 30
Slika 3.22: Predkrivljenje pločevine ohišja [10]. 31
Slika 3.23: Rezultat glavnega krivljenja pločevine [10]. 31
Slika 3.24: Prikaz kompleksnega detajla po končanem krivljenju ohišja [10]. . . 32
Slika 3.25: Prikaz stopničastega zapogiba vložka [10]. 33
Slika 3.26: Prikaz prvega krivljenja drsnika [10]. 33
Slika 3.27: Prikaz rezultata drugega krivljenja drsnika [10]. 34
Slika 3.28: Laserski var [10]. 35
Slika 3.29: Laserski var po piljenju in brušenju [10]. 36
Slika 3.30: Prikaz kasete, nameščene v velikoformatni fotoaparat [10]. 38
Slika 3.31: Fotografsko steklo, vstavljeno v našo kaseto, slikano v temnici pod rdečo lučjo [10]. 39
Slika 3.32: Prvi rezultat testa tesnjenja [10]. 39
Slika 3.33: Končni rezultat testa tesnjenja [10]. 40

Slika 4.1: Poškodovana plast eloksacije po krivljenju [10]. 41
Slika 4.2: Zaključena kaseta z izvlečenim drsnikom [10]. 42
Slika 4.3: Fotografija, narejena z našo kaseto [10]. 43

Kazalo preglednic

Preglednica 2.1: Priporočeni specifični tlaki p [MPa] pri upogibanju v utopu [1]. 9

Preglednica 3.1: Pomembne dimenzije kasete [9]. 15

Preglednica 3.2: Primerjava predvidenih in izmerjenih meritev kasete [10]. . 37

Seznam uporabljenih simbolov

Oznaka	Enota	Pomen
A_{10}	/	rezteznost
b_0	mm	širina pločevine
c_u	/	upogibni faktor
E	MPa	modul elastičnosti
F	N	sila
F_k	N	sila kalibriranja
F_pu	N	sila prostega upogiba
k	/	korekcijski faktor
K	/	faktor elastičnega izravnavanja
L	mm	dolžina
l_α	mm	dolžina razvite pločevine upogiba
R	mm	zunanji radij upogiba
R_m	MPa	natezna trdnost
R_p	MPa	meja tečenja
r_0	mm	radij upogiba v deformacijskem vlaknu
r_1	mm	notranji radij upogiba
s_0	mm	debelina pločevine
w	mm	razdalja krivljenja
α	$^\circ$	kot upogiba
α_1	$^\circ$	kot krivljenja
α_2	$^\circ$	kot po razbremenitvi
$\Delta\alpha$	$^\circ$	elastično izravnavanje
φ	/	deformacija

Seznam uporabljenih okrajšav

Okrajšava	Pomen
CNC	computer numerical control oz. računalniška numerična kontrola
DXF	drawing exchange format oz. format izmenjave risb
MIG	metal inert gas oz. kovinska elektroda z neaktivnim plinom
MAG	metal active gas oz. kovinska elektroda z aktivnim plinom
TIG	tungsten inert gas oz. volframova elektroda z neaktivnim plinom
2D	dvo demenzionalno oz. površinsko
3D	tri demenzionalno oz. prostorsko
ASA	American standard asociation oz. Ameriško združenje za standarde
ISO	International Organization for Standardization oz. Mednarodna organizacija za standarde
W.Nr.	Nemško: Werkstoffnummer oz. številka materiala

1 Uvod

Fotografske **kasete** so namenjene nošenju in fotografiranju na fotografski medij z analognimi fotoaparati za velike formate. Te kasete zahtevajo tesnenje svetlobe, tako da fotografski medij v kaseti ni neustrezno osvetljen pred razvijanjem. Fotografski medij vključuje na svetlobo občutljivo plast, izdelano iz fotografske emulzije, to v fotoaparatu osvetlimo in nato v temnici razvijemo v fotografijo in bazo, ki je lahko polimer, pločevina, papir ali steklo.

1.1 Predstavitev osnov

Za fotografiranje so v začetku fotografije potrebovali velikoformatne fotoaparate. Tako so se v Ameriki razvili standardi velikosti 4 x 5, 5 x 7 in 8 x 10 inch, nato preidemo v še večje formate, ki pa nas trenutno ne zanimajo, saj se jih uporablja redkeje. Te velikosti kaset so bile zasnovane za izdelavo iz lesa in so zato zasnovane zelo prostorno in masivno, kot tudi z zelo širokim tolerančnem poljem, to pa posledično pomaga pri proizvodnji, saj omogoča velik izbor postopkov izdelave in materialov, kot na primer z modernejšim postopkom, 3D tiskom.

Evropski standardi, ki so se razvijali ločeno, pa zajemajo velikosti 9 x 12, 10 x 15, 13 x 18 cm in še nekaj drugih velikosti, ki so večinoma zamrle zaradi premoči ameriških standardov oziroma njihovega obstoja. Z razvojem boljših filmov so se tudi začeli razvijati manjši formati, ki imajo prednost kompaktnosti. Našteti evropski formati so bili zasnovani tako, da so bili fotoaparati čim bolje prenosljivi. S tem so bili fotoaparati in kasete tudi do štirikrat bolj kompaktni od ameriških standardov s podobnimi površinami fotografskega medija. Zaradi te lastnosti je želja po uporabi tega formata z obujanjem velikoformatne fotografije močna, vendar nedostopnost kaset omejuje uporabo tega formata.

1.2 Ozadje problema

Ameriške velikosti kaset so trenutno izdelane s postopki brizganja ali pa 3D tiska, le redki proizvajalci te kasete še izdelujejo iz lesa. Za namen kompaktnosti evropskih velikosti teh formatov so bili fotoaparati ustvarjeni na tak način, da so bile kasete izdelane

iz pločevine, ki je omogočala izdelavo tanjših sten v primerjavi z lesom. Zaradi tega pa ni možna zanesljiva izdelava z nobenim drugim materialom, razen s pločevino, saj so stene pretanke za zanesljive izdelke, izdelane s postopkom brizganja plastike. Te zahteve so povzročile, da trenutno ni proizvajalca kaset za fotografiranje 9 x 12 cm formata in se lahko dobimo le stare kasete, ki pa so vedno manj zanesljive, ker fotografskega medija ne varujejo ustrezno pred svetlobo.

1.3 Cilji

Cilj je izdelati nove kasete za format 9 x 12 cm iz pločevine. Ta kaseta bo morala ustrezati vsem karakteristikam obstoječih kaset, tako da bo ustrezna za uporabo in zasnovati postopek izdelave.

V teoretičnem delu naloge bomo spoznali postopke preoblikovanja pločevin, izbrali material, postopke in opravili potrebne izračune za izdelavo. V praktičnem delu pa bomo izdelali orodja, potrebna za izdelavo posameznih komponent kasete ter pri tem rezultate primerjali s teoretičnimi.

2 Teoretične osnove in pregled literature

V tem poglavju predstavljamo teoretične osnove upogibanja pločevine. Ta postopek je zelo razširjen v proizvodni izdelkov, saj mnogo izdelkov potrebuje pločevino za delovanje ali kostrukcijo. Z upogibanjem pločevine je možna izdelava tako posamičnih izdelkov kot tudi velikih serij, kar naredi ta postopek še bolj priljubljen.

2.1 Teorija upogibanja

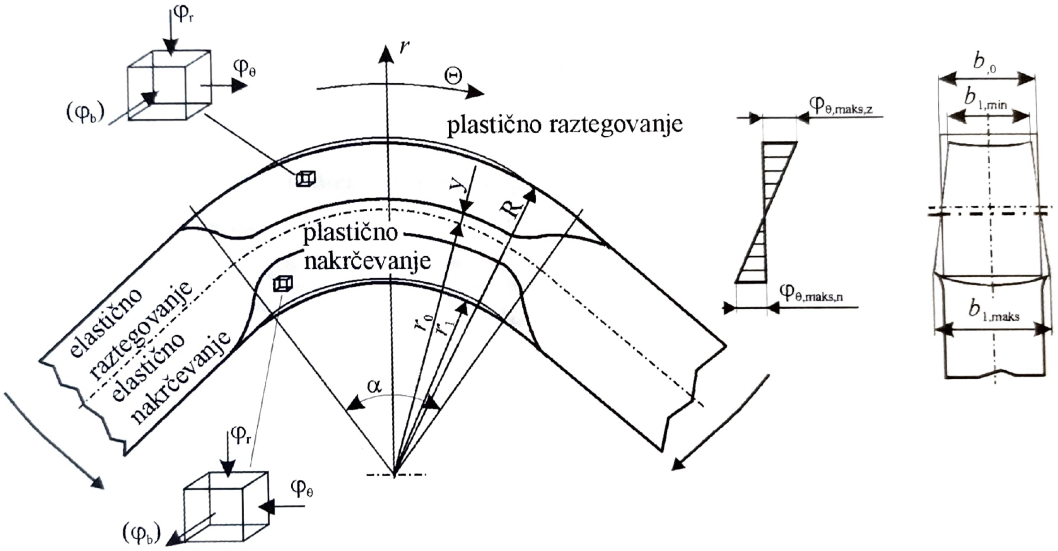
Upogibanje spada med postopke natezno-tlačnega preoblikovanja, ker pri njem nastajajo tako tlačne kot tudi natezne deformacije. Za upogibanje so značilne tudi elastične deformacije, ki pa povzročijo zravnanje po preoblikovanju. Zaradi teh je potrebno sprotno nastavljanje strojev pri večjih proizvodnjah z zelo veliko tolerančno natančnostjo. Ta problem v našem primeru ne bo tako velik, saj bomo delali s tankimi pločevinami, pri katerih je zravnaje manjše. Po potrebi se upogibance po upogibanju segreva, da zmanjšamo notranje napetosti, povzročene pri upogibanju [1].

2.1.1 Deformacije pri upogibanju

Pločevina se pri upogibanju na notranji strani nakrči, na zunanji pa se raztegne, zaradi tega so na zunanji strani sile natezne, na notranji strani pa so sile tlačne. Nedeformirano območje, ki je tudi po upogibanju ostalo enako dolgo, imenujemo nevtralna oziroma **deformacijska ravnina**, ki je prikazana kot črta pika črta na sliki 2.1 [1] [2].

Zaradi tlačenja in raztegovanja materiala pride do sprememb širine materiala, kar se predvsem pozna pri ožjih krivljencih, pri širših krivljencih pa lahko te deformacije zanemarimo. Zanemarljivo širino lahko preverimo z enačbo (2.1), kjer b_0 predstavlja širino pred krivljenjem oziroma širino ob deformacijski ravnini, s_0 pa debelino pločevine. V naših primerih bo širina mnogo večja od debeline pločevine, tako da bomo te deformacije lahko zanemarili [1].

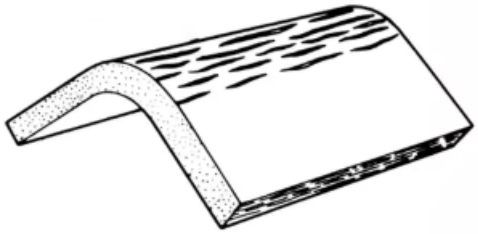
$$b_0 > 3s_0 \rightarrow \varphi_\mathrm{b} \approx 0 \tag{2.1}$$



Slika 2.1: Deformacije in pomembne dimenzije upogibanja [1].

2.1.2 Preoblikovalnost pločevine

Pri upogibanju pločevine pride na zunanjem obodu do raztega. Pri preveliki deformaciji zaradi tega lahko pride do porušitve materiala, kar je opazno kot manjše razpoke v materialu, kot je prikazano na sliki 2.2. Da preprečimo prekomerno deformacijo, moramo upoštevati najmanjši ali minimalni upogibni polmer $r_{1,\min}$, kar je tudi merilo preoblikovalnosti kot tudi kot krivljenja α in upogibni faktor c_{u}. S pomočjo c_{u} lahko izračunamo najmanjši upogibni polmer po enačbi (2.2) [1].



Slika 2.2: Nastanek razpok pri prevelikih deformacijah [3].

Upogibni faktor c_u je predvsem odvisen od materiala in smeri valjanja. Preoblikovanje v smeri valjanja je boljše, saj je v to smer preoblikovalnost večja. Upogibni faktor lahko odčitamo iz preglednic ali pa ga izračunamo po enačbi (2.3). Ta enačba je le približek in velja le za lahke kovine, najbolje je opraviti preizkuse na materialu ter tako ugotoviti ustrezen $r_{1,\min}$ in iz njega moj specifičen c_{u} [1].

Pri upogibanju pa moramo upoštevati tudi največji oziroma maksimalni radij krivljenja, saj če je ta radij prevelik, se vse deformacije dogajajo v elastičnem območju ter se po sprostitvi obremenitve povrnejo in ne obdržijo oblike. Da pride do trajne de-

formacije krivljenca, moramo upoštevati ta maksimalni radij, ki ga določimo z enačbo (2.4) [1].

$$r_{1,\min} = c_{\mathrm{u}} s_0 \tag{2.2}$$

$$c_{\mathrm{u}} = 0{,}085 \frac{R_{\mathrm{m}}}{A_{10}} + 0{,}5 \tag{2.3}$$

$$r_{1,\max} < \frac{s_0}{2} \frac{E}{R_{\mathrm{p}}} \tag{2.4}$$

2.1.3 Elastično izravnavanje

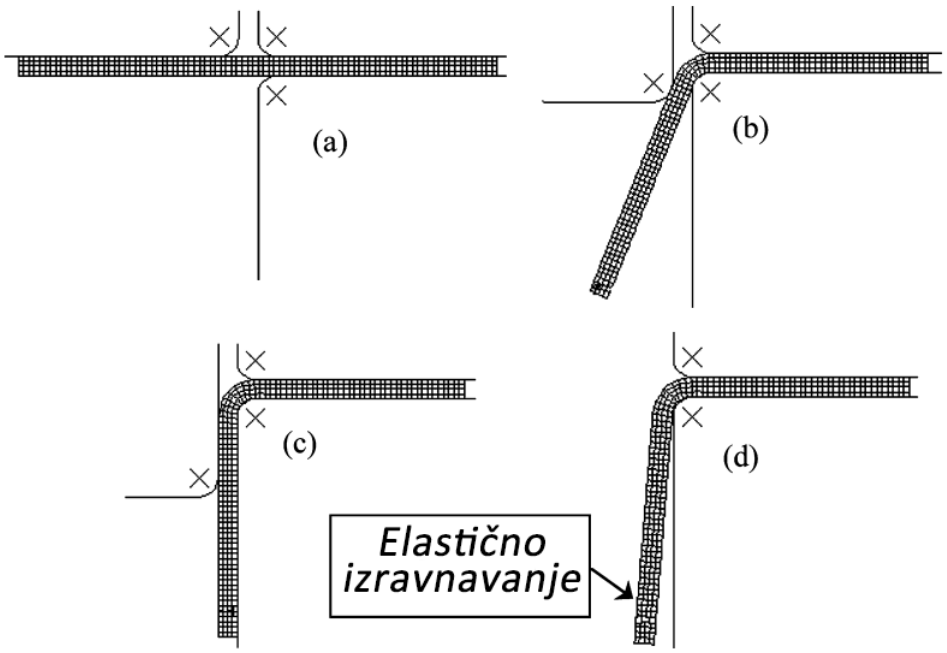
Pri krivljenju nastopajo tako plastične kot tudi elastične deformacije. Slednje povzročijo, da se po razbremenitvi upogibnega orodja oziroma priprave upogibanec odpogne za nek kot, ki je prikazan na sliki 2.3. Da dobimo želen kot upogiba, moramo preupogniti krivljenec, da se po razbremenitvi povrne do našega želenega kota. Elastično izravnavanje $\Delta\alpha$ lahko izračunamo iz izmerjenih α_1 in α_2 razvidnih iz slike 2.4 z enačbo (2.5). Kot elastičnega izravnavanja se najpogosteje izračuna s pomočjo faktorja elastičnega izravnavanja K, ki ga lahko izračunamo iz izmerjenih veličin z enačbo (2.6) ali pa ga pridobimo iz podatka materiala, prikazanega na sliki 2.4. Kadar so zahteve po natančnosti zelo velike, je priporočeno opraviti preizkuse že z novo serijo materiala, saj lahko na elastično izravnavanje vplivajo že zelo majhne spremembe v materialu [1] [2].

$$\Delta\alpha = \alpha_1 - \alpha_2 \tag{2.5}$$

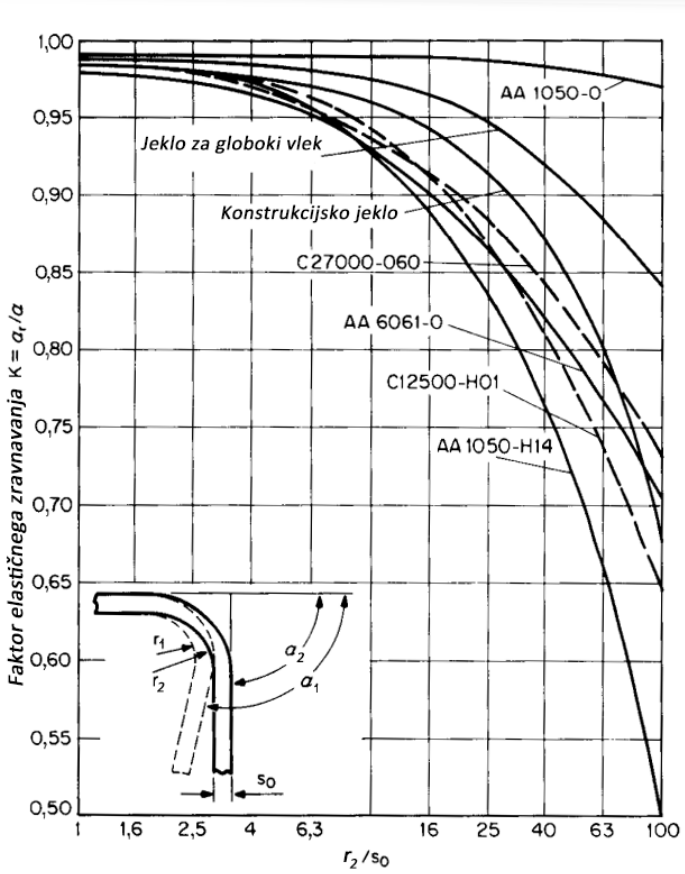
$$K = \frac{r_1 + \frac{s_0}{2}}{r_2 + \frac{s_0}{2}} = \frac{\alpha_2}{\alpha_1} \tag{2.6}$$

2.1.4 Dolžina razvite pločevine

Za razrez pločevine in izdelavo orodja moramo poznati razvito dolžino pločevine, saj se ta razlikuje od upognjene. Do razlik pride predvsem zaradi nakrčevanja in raztegovanja materiala, ki pa se razlikuje glede na material. Te razlike lahko pridejo zelo velike, predvsem pri večjem številu upogibov v isti upogibni ravnini. Za izračun razvite dolžine moramo poznati radij in debelino materiala. S tema dimenzijama lahko dobimo korelacijski faktor k, ki ga izračunamo z enačbo (2.7), to enačbo se upošteva le, če velja enačba (2.8), drugače velja $k = 1$ [1].



Slika 2.3: Koraki krivljenja in elastično izravnavanje [3].



Slika 2.4: Vpliv r_2/s_0 na faktor elastičnega izravnavanja K [2].

$$k = 0{,}65 + \frac{1}{2}\log\frac{r_1}{s_0} \tag{2.7}$$

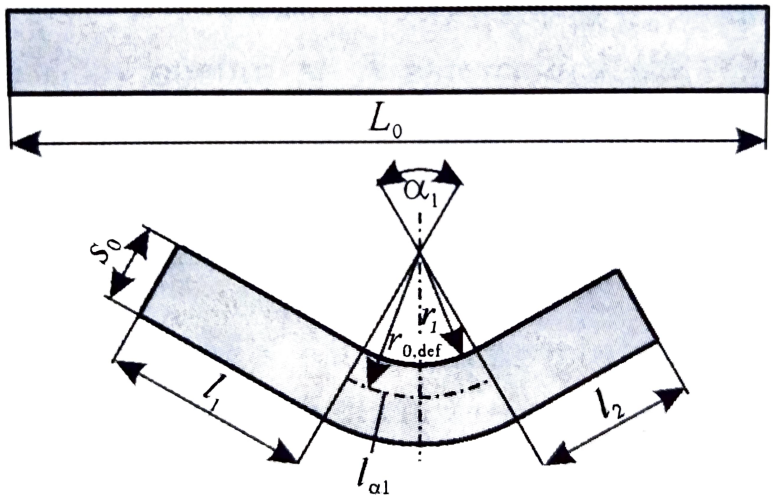
$$\frac{r_1}{s_0} \leq 5 \tag{2.8}$$

S pomočjo korekcijskega faktorja k lahko po enačbi (2.9) izračunamo radij, na katerem se nahaja deformacijsko vlakno, ki ostane pred krivljenjem in po njem enako. To pomeni, da z računanjem dolžine krožnega loka z radijem deforcijskega vlakna lahko ugotovimo pravilno dolžino razvite pločevine tega upogiba z enačbo (2.10). Z izračunanimi vsemi dolžinami upogibov in neukrivljenih predelov krivljenca lahko z enačbo izračunamo polno razvito dolžino krivljenca z enačbo (2.11) [1].

$$r_{0,\mathrm{def}} = r_1 + \frac{s_0}{2}k \tag{2.9}$$

$$l_{\alpha 1} = \frac{\pi \cdot r_{0,\mathrm{def}} \cdot \alpha_1}{180^\circ} \tag{2.10}$$

$$L_0 = \sum_{i=1}^{n} l_{\mathrm{i}} + \sum_{\alpha \mathrm{j}=1}^{m} l_{\alpha \mathrm{j}} \tag{2.11}$$



Slika 2.5: Dimenzije določanja razvite dolžine [1].

2.1.5 Sila upogibanja

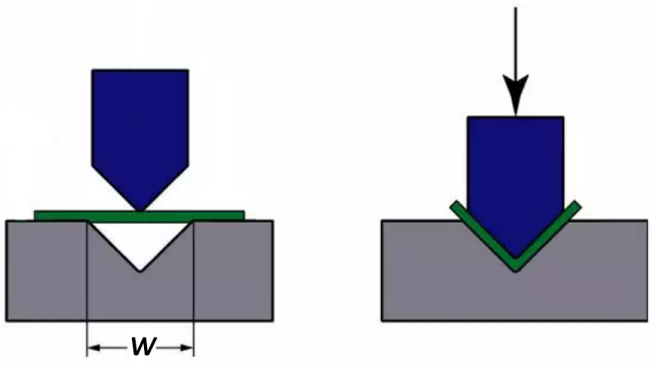
Sama sila upogibanja za izdelavo nima takega pomena, je pa pomembna pri izbiri krivilne priprave in stroja, s katerim ustvarimo potrebno silo, saj ne bi mogli dokončati

upogiba z neustreznim strojem, ki ne bi mogel ustvariti dovolj velike sile. Za izračun sile moramo poznati lastnosti materiala in dimenzije upogiba, ki ga želimo opraviti. Silo prostega upogiba F_{pu} izračunamo z enačbo (2.12) in (2.13), pri "V"upogibu, prikazanem na sliki 2.6, pa pri koncu pomika lahko material še dodatno obremenimo, da boljše obdrži obliko, česar pa pri "L"upogibu, prikazanem na sliki 2.7, ne moremo narediti, saj pestič lahko prosto premikamo tudi po končanem upogibu. To tako imenovano silo kalibriranja lahko izračunamo z enačbo (2.14), kjer p predstavlja specifični tlak pri krivljenju v utopu, tega lahko odčitamo iz tabele 2.1. Na sliki 2.8 lahko opazujemo silo upogibanja v odvisnosti od poti pestiča, zančilno za "V"upogibanje. Opazimo lahko, da imamo prvi maksimum upogibanja materiala, ki ni največji na koncu upogibanja, vendar nekje vmes. Sila pa drastično naraste, ko začnemo material preobremenjevati, saj se material nima kam umakniti ali se dovolj deformirati, to pa predstavlja drugi nedoločen maksimum. Na slikah 2.6 in 2.7 lahko opazimo krivilno razdaljo, pomembno za izračun krivilne sile za "V"in "L"način krivljenja [1] [4].

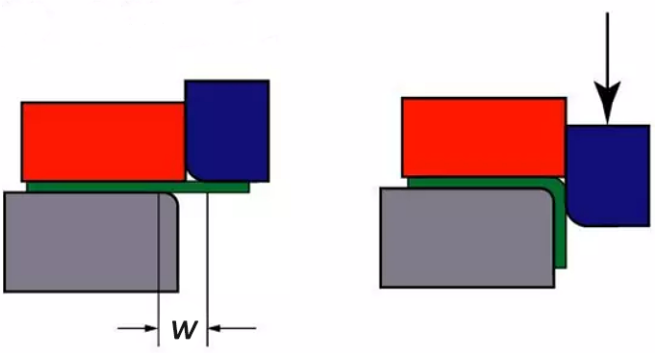
$$K_{\mathrm{k}} = 1 + \frac{4s_0^2}{w} \tag{2.12}$$

$$F_{\mathrm{pu}} = K_{\mathrm{k}} \cdot R_{\mathrm{m}} \frac{b \cdot s_0^2}{w} \tag{2.13}$$

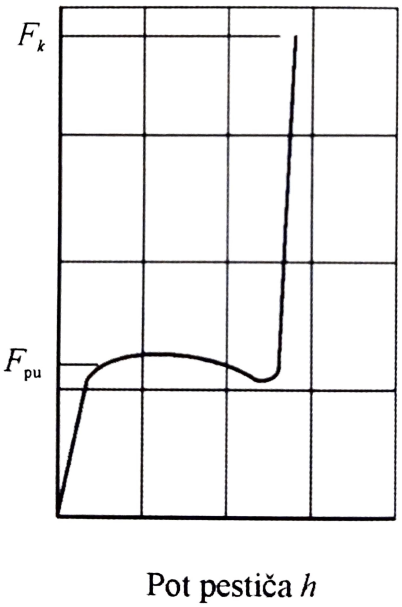
$$F_{\mathrm{k}} = w \cdot b \cdot p \tag{2.14}$$



Slika 2.6: Razdalja krivljenja pri V krivljenju [4].



Slika 2.7: Razdalja krivljenja pri L krivljenju [4].



Slika 2.8: Sila upogibanja v odvisnosti od poti pestiča [1].

Preglednica 2.1: Priporočeni specifični tlaki p [MPa] pri upogibanju v utopu [1].

	Debelina s_0 mm			
Material	do 1	1–3	3–6	6–10
aluminij	15–20	20–30	30–40	40–50
med	20–30	30–40	40–60	60–80
jeklo 0,1–0,2 % C	30–40	40–60	60–80	80–100
jeklo 0,25–0,35 % C	40–50	50–70	70–100	100–120

2.2 Izbira materiala

Za izdelavo izdelkov iz pločevine se uporablja predvsem jeklene in aluminijaste pločevine, za določene izdelke pa tudi medenino in še nekatere druge pločevine. Iz obstoječe kasete smo ugotili, da so za izdelavo uporabili neko jekleno pločevino debeline okoli 0,3 mm, ki je bila nato pobarvana s črno barvo, do približne končne debeline 0,4 mm. Iz geometrije izdelka smo ugotovili, da je maksimalna debelina pločevine 0,4 mm, saj morajo

pri 180° zapogibu debeline oziroma premera 1,6–1,7 mm priti 4 debeline pločevine, torej 0,4 mm. Pri izbiri aluminija kot našega materiala lahko izdelke pobarvamo s postopkom eloksiranja, ki praktično ne doda debeline materiala, saj je debelina nanosa le nekaj μm. Pred eloksiranjem material jedkamo ali peskamo, ki prav tako odstrani manjšo količino materiala. Prav tako pa je aluminij redkejši od jekla, torej bi bil končni izdelek lažji, kar je boljše za izdelek, ki je mišljen za nošenje na teren. Prednost aluminija pa je tudi korozijska odpornost, saj z uporabo lahko na jekleni kaseti odstranimo barvo in tam začne rjaveti, kar bi uničilo izdelek [5].

Na podlagi teh prednosti smo se odločili uporabiti aluminij debeline 0,4 mm. Ker pa aluminijaste pločevine delajo iz različnih aluminijevih zlitin in z različno kakovostjo, smo morali izbrati tudi to. Za krivljenje je predvsem uporabljena zlitina Al 1050, saj vsebuje le majhen delež magnezija, prevelik delež bi namreč povzrožil krhkost materiala. Nato smo izbrali poltrdi material, saj bi trdi lahko pri krivljenju pokal, iz mehkega pa bi bili izdelki premalo togi.

2.3 Izbira površinske zaščite

Aluminij sam po sebi ne rjavi, le površinsko oksidira. Zaradi tega nam glede obstojnosti izdelka ni treba površinsko zavarovati aluminijastih komponent.

Med fotografiranjem lahko del svetlobe pride skozi fotografski medij in se odbije od notranje strani kasete na nepredvidljiv način. S tem bi odbita svetloba povzročila dodatno nepredvideno osvetlitev medija z zadnje strani. Ta dodatna osvetlitev bi fotografijo uničila. Fotografski filmi običajno vključujejo tako imenovano antihalcijsko plast, ki tako odbijanje prepreči, to pa v postopku razvijanja odstranimo. V primeru uporabe steklenih suhih plošč pa te plasti nimajo. Da ta odboj od kasete preprečimo, je treba kaseto narediti neodbojno, kar naredimo tako, da kaseto pobarvamo v matirano črno barvo. Tako se svetloba, ki pride skozi naš fotografski medij, ne odbije od notranje strani kasete, ampak se absorbira [6].

Za barvanje aluminija imamo na izbiro kataforetično lakiranje ter pa eloksiranje. Kataforetično lakiranje oziroma prašno barvanje je nekoliko cenejši postopek od eloksiranja, vendar potrebujemo v izdelku luknjice za obešanje med barvanjem. Prav tako lahko pride do manjših smeti v laku ali prahu, kar je razvidno na končnem izdelku. Barva se na izdelek zapeče v peči, v katero damo izdelke. Predvsem zaradi potrebnih luknjic za obešanje je ta postopek dokaj nesprejemljiv za barvanje kasete, saj ne moremo imeti luknjic v izdelku. Eloksiranje je nekoliko dražji postopek, vendar nam pusti zelo lepo in enakomerno obarvan izdelek z utrjeno površino. Za ta postopek pa za razliko od kataforetičnega prašnega lakiranja ne potrebujemo luknjic za pritrditev med barvanjem. Prav tako pa lahko z eloksiranjem izdelke obarvamo v skoraj katerokoli barvo. V našem primeru smo se odločili za črno, če pa bi želeli, bi jo lahko obarvali tudi v rdečo, ki bi večinoma bila tudi ustrezna barva, saj večina velikofomatnih fotografskih medijev ni občutljiva na rdečo svetlobo v primeru, da bi se del rdeče svetlobe odbil od notranje strani kasete [7].

Pri eloksiranju material pospešeno oksidiramo ter ga tako lahko zaščitimo pred nepredvideno oksidacijo. Na ta način naredimo enakomeren in lepši videz. Pred eloksiranjem

potrebujemo še predobdelavo, ki je lahko mehanska (npr.: peskanje) ali kemična (npr.: jedkanje), kar nam lahko zagotovi enakomerno mat površino, ki jo želimo, hkrati pa nam s površine odstrani manjše napake, kot so praske in odtisi. Eloksiranje ustvari neprevodno in zelo trdo plast, saj je nastala površina vrsta keramike, ki naš izdelek ščiti pred praskami, obrabo in drugimi poškodbami. Z eloksiranjem lahko pridobimo različno debelo plast z uporabo različnih parametrov pri eloksiranju, debelina plasti tudi vpliva, kako obstojna bo plast pri delih s konstantno uporabo; v našem primeru drsnik. Prevleka vsebuje mikropore, ki jih zapremo z obdelavo v vroči vodi, kar površino naredi gladko in odpornejšo na nadaljnjo korozijo. Zaradi trde in krhke nove površine pri eloksiranju pa ta ni primerna za nadaljnje plastično preoblikovanje materiala, saj bi se ta plast lahko odluščila ali poškodovala ter s tem izgubila svoj lep in enakomeren videz [5].

3 Metodologija raziskave

V tem poglavju bomo prikazali postopek izdelave fotografske kasete vse od snovanja in konstrukcije do dodatnih obdelav. Vsak korak je pomemben, da lahko uspešno krivimo pločevino in na koncu pločevino ustrezno zaščitimo ter sestavimo v končni izdelek.

3.1 Konstruiranje in izdelava 3D modelov komponent kasete

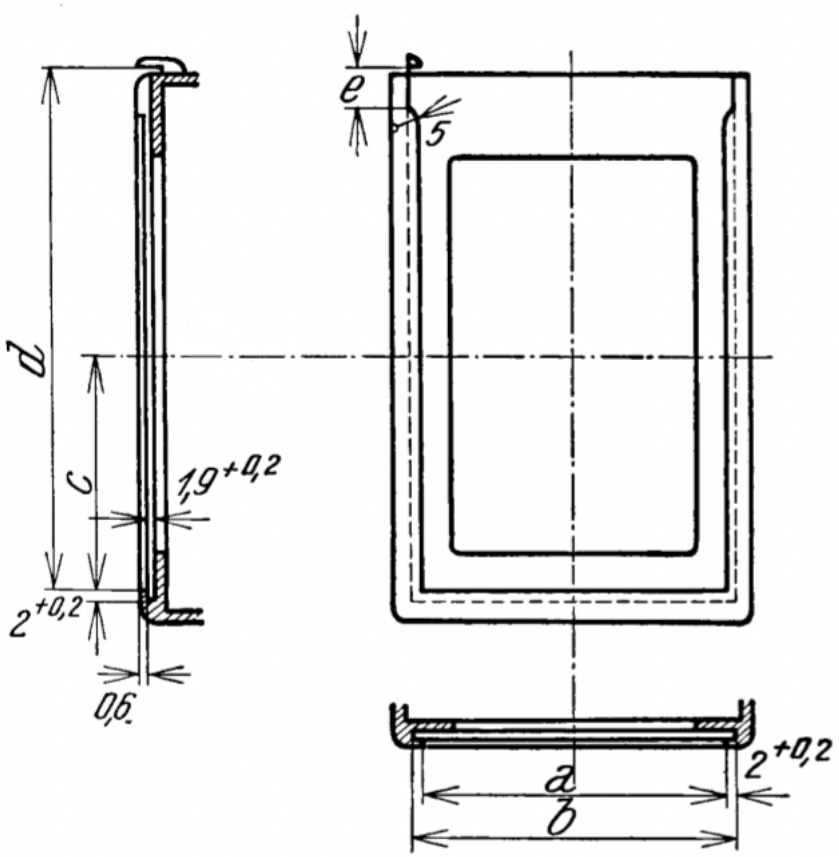
Kaseta je sestavljena iz treh komponent, ki jih bomo imenovali kot **ogrodje**, **vložek** in **drsnik**. Te komponente so ostale enake oziroma zelo podobne kot že na obstoječi kaseti, saj mora kaseta še vedno biti kompatibilna s starimi fotoaparati. Edina večja sprememba je, da smo povečali maksimalno sprejemljivo debelino stekla, ki se ga lahko uporabi za fotografiranje, saj v obstoječo kaseto standardno 2 mm steklo komaj ustreza ali pa sploh ne, saj se je originalno za fotografiranje uporabljalo tanjše steklo, ki pa sedaj ni ali pa je zelo težko dobavljivo. Zaradi tega nekatere starejše kasete praktično niso uporabne, saj se pri uporabi kasete, ki ne more sprejeti 2 mm, stekla lahko fotografska emulzija poškoduje, opraska ali pa stekla niti ne moremo vstaviti in uporabiti kasete. Z dodatnimi 0,5 mm globine pa bo uporaba kasete mogoča tudi z 2 mm steklom brez težav, pri čemer se debelina in masa same kasete ne bo bistveno povečala. Zaradi same konstrukcije kasete je še vedno mogoče uporabljati tanjši fotografski medij, saj vložek vključuje vzmeti, ki fotografski medij potiskajo navzgor ter tako zagotovijo, da je ne glede na debelino medija ta potisnjen do fokusne ravnine kasete.

3.1.1 Pomembne dimenzije kasete

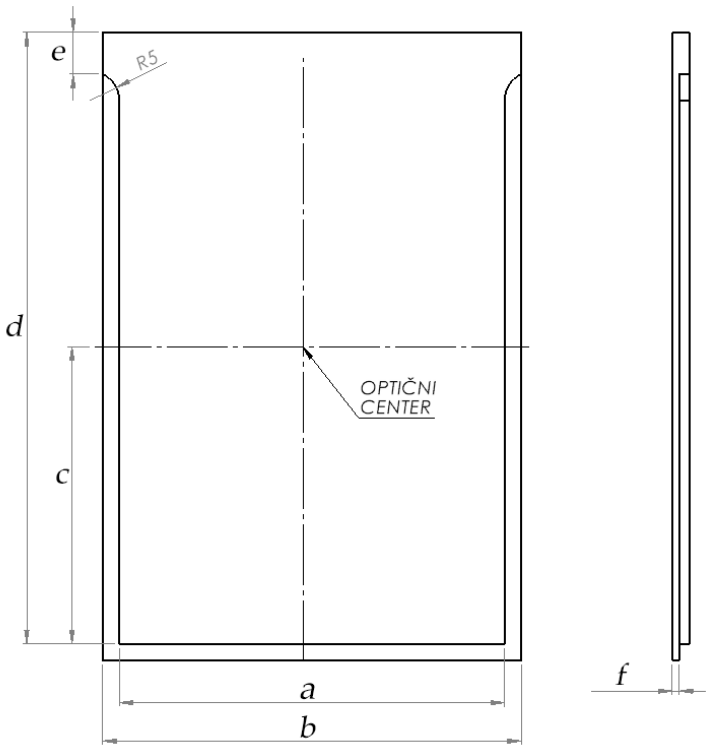
Kaseta ima nekaj relativno strogo določenih dimenzij, veliko pa je prostih za spreminjanje. Določene dimenzije so za zagotavljanje ujemanja med kaseto in fotoaparatom ter za pravilno fokusno oddaljenost, ki zagotavlja ostrino slike. Prav tako pa je določena velikost fotografskih stekel in drugih fotografskih medijev, ki morajo ustrezati v kaseto.

Fotografska stekla so formata 9 x 12 cm, vendar so v realnosti nekoliko manjša, običajno so velikosti 88 x 119 mm. Za ta format proizvajajo tudi film, ki pa je na primer velikosti 88,5 x 118,5 mm [8]. Tako vemo, da morajo v kaseto ustrezati fotografski mediji, ki od predvidenih dimenzij lahko malo variirajo. Ostale pomembne dimenzije so prikazane na

sliki 3.2 in 3.1 in so zapisane v tabeli 3.1. Te dimenzije so standardizirali pod imenom **normalni zapogib**, pred tem pa so dimenzije proizvajalci določali sami, kar je povzročalo zmedo za uporabnike. S standardizacijo so omogočili uporabo katerekoli kasete na kateremkoli fotoaparatu 9 x 12 cm formata. Optični center je sredina fotografske plošče in pozicija sredine objektiva, kar je označeno na sliki 3.2 in kot črtkane črte na sliki 3.1, to središče je določeno z mero c, kot je to razvidno iz slik. Ta dimenzija pri kaseti nekoliko odstopa glede na dimenzijo, določeno po standardu fotoaparatov, vendar smo glede na obstoječe kasete in fotoaparate to središče nekoliko premaknili nižje, saj je vrhnji del stekla še vedno na enakem predelu, le spodnji del stekla je nekoliko manj zakrit s pločevino. S tem delovanja ne bomo spremenili, saj bo v fotoaparatih, ki podpirajo ta način, uporabljen večji del stekla, pri fotoaparatih z manjšim izrezom odprtine pa bo na tem predelu senco ustvarilo ohišje fotoaparata in ne pločevina kasete, kar ne naredi bistvene razlike. V preglednici 3.1 pod črko f je navedena debelina zapogiba, na sliki fotoaparata 3.1 ni te črke, saj so vsi standardizirani formati uporabili enako širino zapogiba. Dimenzije za kaseto smo prilagodili glede na dimenzije naseda na fotoaparatu, ki so določene in glede na obstoječe kasete, ki imajo navadni zapogib.



Slika 3.1: Pomembne dimenzije naseda na fotoaparatu [9].



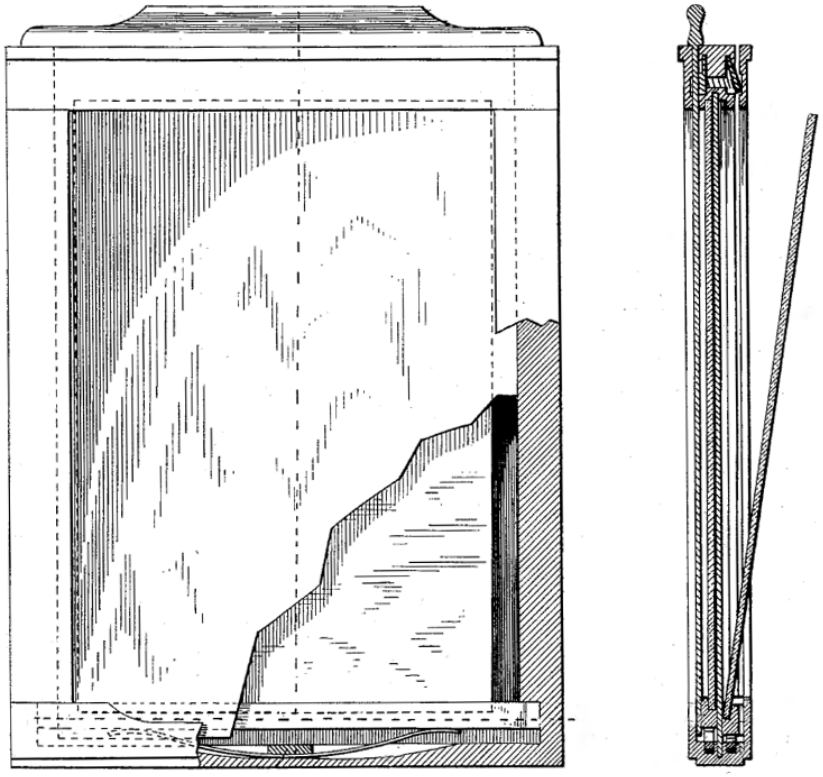
Slika 3.2: Pomembne dimenzije kasete [10].

Preglednica 3.1: Pomembne dimenzije kasete [9].

Dimenzije normalnega pregiba [mm]												
	a		b		c		d		e		f	
Fotoaparat	97	+0,3	101	+0,3	72,5	±1	149	+0,3	9	+0,5	1,9	+0,2
Kaseta	96		100,4		68		149	-0,2	9		1,6	+0,1

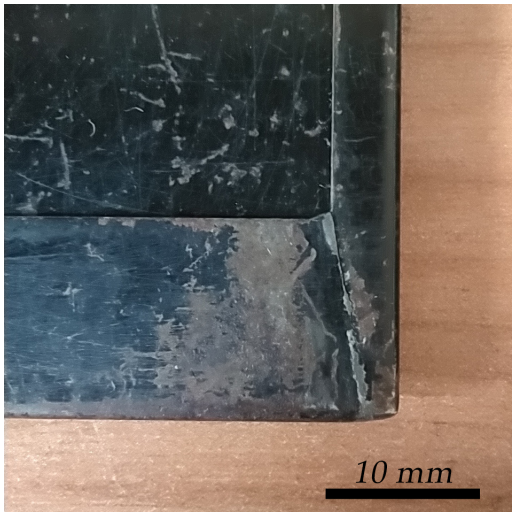
3.1.2 Upoštevanje funkcionalnosti in postopkov izdelave v modeliranju komponent

Z določenimi pomembnimi dimenzijami in debelino pločevine 0,4 mm, ki smo jo že določili v poglavju 2.2, smo lahko začeli modelirati posamezne komponente kasete, še neznane dimenzije smo določali z merjenjem obstoječe kasete ali pa smo jih določili sami, tako da bo kaseta ustrezno delovala. Morali smo se tudi odločiti, kakšen način fiksiranja stekla bomo uporabili, saj je skozi čas bilo ustvarjenih mnogo različnih rešitev, odločili smo se za enostavno in zanesljivo rešitev z uporabo fiksne vzmeti, podobno kot to prikazuje slika 3.3, kjer lahko opazimo, kako lahko steklo vstavimo s sprednje strani, kjer s steklom vzmet stisnemo in steklo potisnemo v kaseto, kjer steklo spustimo, da ga vzmet potisne pod rob kasete tako, da ostane steklo na mestu za čas uporabe. Da steklo spravimo iz kasete, pa ponovimo postopek v obratnem vrstnem redu. Tak način fiksiranja stekla uporabi minimalno število premičnih komponent, v tem primeru samo vzmet, kar zagotovi enostavno konstrukcijo, malo komponent in dolgo življenjsko dobo brez vzdrževanja. S tem sistemom smo povečali število komponent kasete na štiri, saj smo dodali še vzmet, ki bo narejena iz vzmetnega jekla.



Slika 3.3: Uporaba vzmeti kot način fiksiranja stekla [11].

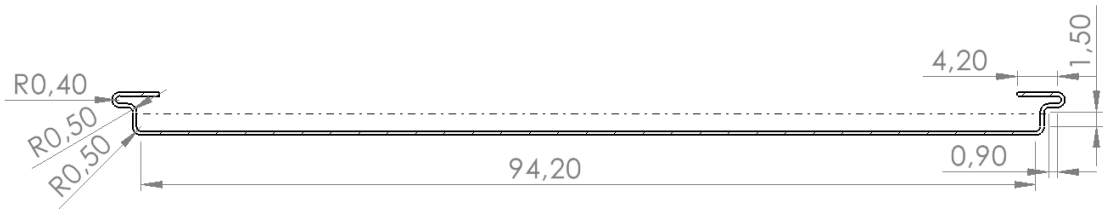
Med zapogibi je na dveh mestih na kaseti opravljen spoj, ki špranjo med pločevino zapre in jo naredi svetlobno tesno. Na obstoječih kasetah je bil ta spoj opravljen z mehkim lotom, kot je to prikazano na sliki 3.4. V našem primeru pa imamo na izbiro tudi modernejše lasersko varjenje, ki ga takrat še niso poznali. Pri modeliranju moramo paziti, da bo špranja po krivljenju čim manjša in bo dodajanje materiala čim manjše ali pa sploh ne bo potrebno.



Slika 3.4: Lotan spoj na kaseti [10].

3.1.3 Razvite pločevine komponent in razrez pločevine

Iz 3D modelov komponent kasete smo v CAD pogramu SolidWorks lahko enostavno razvili pločevino v ploščinski model pločevine pred krivljenjem, saj smo že med samim modeliranjem komponent uporabili programska orodja za pločevino, tako da program že ve, kaj so zapogibi in kako jih je treba odkriviti v pločevino pred krivljenjem. Pri razvijanju pločevine program izračuna pravilno razvito dolžino z upoštevanjem radijev, kota predvidenega krivljenja in debeline pločevine. Te izračune bi lahko izvedli tudi ročno z uporabo enačb, opisanih v poglavju 2.1.4. En izračun smo vseeno opravili sami, kar je razvidno s slike 3.5 in izračunov, opravljenih spodaj. Pri izračunu smo sledili postopkom ter tako ugotovili razvito dolžino po eni krivilni ravnini. Po izračunu je razvita dolžina tega prereza 114,8 mm, Solidworks pa nam je to dolžino izračunal 115,1 mm. Do te razlike pride zaradi zaokroževanja in morda nekoliko bolj zapletenih izračunov in enačb, ki jih uporabi CAD program. Modele razvitih pločevin smo uporabili za izdelavo 2D obrisa, tega smo pretvorili v podatkovno datoteko s končnico DXF, tako datoteko namreč potrebuje podjetje za izdelavo laserskega programa za laserski razrez pločevine. Ta način je najenostavnejši, najcenejši in najhitrejši za izdelavo male količine izdelkov iz pločevine. Za izdelavo večjih serij se uporabljajo stiskalnice z orodji za štancanje, te lahko proizvedejo pločevinaste surovce za krivljenje še veliko hitreje in ceneje, vendar pa je v ta namen treba izdelati rezilna orodja, kar pa je predrago za manjše količine surovcev.



Slika 3.5: Prerez zakrivljenega ohišja [10].

$$\frac{r_1}{s_0} = \frac{0{,}4 \text{ mm}}{0{,}4 \text{ mm}} = 1 \leq 5 \tag{3.1}$$

$$\frac{r_1}{s_0} = \frac{0{,}5 \text{ mm}}{0{,}4 \text{ mm}} = 0{,}2 \leq 5 \tag{3.2}$$

$$k = 0{,}65 + \frac{1}{2}\log\frac{r_1}{s_0} = 0{,}65 + \frac{1}{2}\log\frac{0{,}4 \text{ mm}}{0{,}4 \text{ mm}} = 0{,}65 \tag{3.3}$$

$$k = 0{,}65 + \frac{1}{2}\log\frac{r_1}{s_0} = 0{,}65 + \frac{1}{2}\log\frac{0{,}5 \text{ mm}}{0{,}4 \text{ mm}} = 0{,}70 \tag{3.4}$$

$$r_{0,\mathrm{def}} = r_1 + \frac{s_0}{2}k = 0{,}4\ \mathrm{mm} + \frac{0{,}4\ \mathrm{mm}}{2}0{,}65 = 0{,}53\ \mathrm{mm} \tag{3.5}$$

$$r_{0,\mathrm{def}} = r_1 + \frac{s_0}{2}k = 0{,}5\ \mathrm{mm} + \frac{0{,}4\ \mathrm{mm}}{2}0{,}70 = 0{,}64\ \mathrm{mm} \tag{3.6}$$

$$l_{\alpha 1} = \frac{\pi \cdot r_{0,\mathrm{def}} \cdot \alpha_1}{180^\circ} = \frac{\pi \cdot 0{,}53\ \mathrm{mm} \cdot 180^\circ}{180^\circ} = 1{,}665\ \mathrm{mm} \tag{3.7}$$

$$l_{\alpha 1} = \frac{\pi \cdot r_{0,\mathrm{def}} \cdot \alpha_1}{180^\circ} = \frac{\pi \cdot 0{,}64\ \mathrm{mm} \cdot 90^\circ}{180^\circ} = 1{,}005\ \mathrm{mm} \tag{3.8}$$

$$\begin{aligned} L_0 &= \textstyle\sum_{\mathrm{i}=1}^{n} l_i + \sum_{\alpha\mathrm{j}=1}^{m} l_{\alpha\mathrm{j}} \\ &= 94.2 + 4 \cdot 1.005\ \mathrm{mm} + 2 \cdot (1.5\ \mathrm{mm} + 0.9\ \mathrm{mm} + 4.2\ \mathrm{mm} + 1.665\ \mathrm{mm}) \\ &= 114.75\ \mathrm{mm} \end{aligned} \tag{3.9}$$

V podjetju za laserski razrez pločevine je operater pretvoril našo DXF datoteko v CNC program za stroj za laserski razrez pločevine. Poskrbeti je moral, da je pločevina čim bolje izkoriščena in pri razrezu ne pride do prevelikega ali nepotrebnega odpadka materiala. Kosi pa morajo biti tudi pravilno postavljeni glede na smer valjanja pločevine, saj so zrna pločevine razpotegnjena v smeri valjanja in se tam material lažje krivi oziroma je odpornejši na manjše krivilne radije. Zaradi tega smo morali prej določiti usmerjenost surovcev glede na smer valjanja, tako da bodo zapogibi brez težav zakrivljeni in material ne bo počil. Ta usmerjenost je bila pomembna predvsem pri odrezu pločevine za drsnik, saj je zapogib narejen le preko ene ravnine, zaradi kompleksnosti upogibov pa je to kritično mesto, na katerem bi se lahko zgodil lom materiala.

3.2 Konstruiranje in izdelava krivilnih orodij

Komponente kasete so kompleksne in zaradi tega uporaba standardnih krivilnih orodij ni nujno najboljša izbira, določenih komponent s standardnimi orodji ne bi bilo možno izdelati oziroma bi izdelavo otežilo, zato je boljša izbira izdelava posebnega orodja za namen krivljenja prav teh komponent. Za določene komponente pa je uporaba standardnih orodij smiselna, saj poenostavijo in pocenijo njihovo izdelavo. Za vsako komponento in vsak posamezen zapogib te komponente smo morali preceniti en tip orodij preko drugega, da smo tako izbrali optimalni tip orodja in postopek izdelave same komponente. Po precenitvi najboljšega postopka krivljenja posamezne komponente smo morali vsako orodje še posebej zasnovati, predvideti krivilne postopke, obnašanje materiala in ostale karakteristike, pomembne za krivljenje. Z zasnovanimi orodji smo se

lahko lotili 3D modeliranja vsake posamezne komponente orodij s CAD modelirnikom Solidworks, pri čemer smo morali biti pozorni na to, da se vse izide tudi v realnosti, saj lahko pride do tega, da se stvari križajo v enem ali drugem položaju. Šele nato smo lahko začeli s fizično izdelavo krivilnih orodij. Za fizično izdelavo so potrebna razna orodja in stroji, vsak od njih pa deluje na svoj način in omogoča obdelovanje na en ali drugačen način.

3.2.1 Uporabljeni stroji in njihovo delovanje

Za izdelavo orodij so potrebni razni stroji in orodja, vse od pil do rezkalnih strojev. Zaradi zahtevnosti oblik in mnogih komponent je teh strojev več, zaradi česar bomo v tem poglavju na kratko opisali delovanje posameznih strojev.

Rezkalni stroj

Eden od prvih strojev, ki smo ga potrebovali, je bil rezkalni stroj, saj smo z njim lahko material ustrezno grobo obdelali kot tudi kasneje dodali vse potrebne oblike, luknje in navoje. Poznamo klasične rezkalne stroje, ki jih premikamo z ročkami na roke, poznamo pa tudi CNC rezkalne stroje, ki pa za svoje premike uporabljajo motorje, krmiljene s krmilnikom, ki izvaja program. CNC rezkalne stroje je treba programirati z ustreznimi programi, v katere vnesemo naše 3D modele. CNC rezkalni stroji so hitri in natančni. Klasični rezkalni stroji pa nam omogočajo večjo fleksibilnost pri izdelavi. Običajno rezkalni stroji lahko obdelujejo v treh oseh; X, Y in Z. Obstajajo pa tudi 5-osni rezkalni stroji, ki pa imajo še določene rotacije, ki nam omogočajo veliko bolj kompleksne obdelave, ki pa jih mi nismo potrebovali in so nam tako zadostovali 3-osni stroji. Pri rezkalnih strojih se za obdelovanje praviloma vrti orodje in nam omogoča vrtanje, rezkanje, povrtavanje, vrezovanje navojev in še mnoga druga opravila.

Ploščinski brusilni stroj

Ploščinski brusilni stroj omogoča visoko natančnost obdelovanja, stroj nam omogoča brušenje v ravnini pri čemer se z vrtečim se brusilnim kamnom pomikamo proti obdelovancu, ta pa je na obdelovalno mizo pritrjen z elektromagnetom, ta način vpenjanja je namreč zanesljiv in enostaven. Stroj omogoča avtomatsko pomikanje naprej in nazaj, ročno pa se premikamo v drugi ploščinski smeri ter s tem pokrijemo celotno ravnino obdelave. S preciznim pomikanjem po višini pa nam stroj omogoča zelo natančno brušenje debeline. Ta stroj nam omogoča pravilno pripravo materiala kot tudi kasnejše brušenje na ustrezno debelino. Zaradi načina odstranjevanja materiala je ta stroj mišljen za končno odstranjevanje male količine materiala in ne večjega odstranjevanja, saj bi to bilo tako odstranjevanje počasno in nesmiselno.

Stružnica

Stružnice so pogosto uporabljeni stroji, ko potrebujemo izdelavo izdelkov, kjer je vključena neka okroglost, saj se v primeru stružnice, z razliko od rezkalnih strojev, vrti obdelovanec in ne orodje. Tako kot z rezkalnimi stroji poznamo klasične in CNC stružnice. V primeru stružnic lahko upravljamo le 2 osi; X in Z, saj se izdelek vrti in je s tem X in Y os nekako združi v eno. Prav tako kot pri rezkalnem stroju nam klasična stružnica omogoča večjo fleksibilnost in hitrejša manjša opravila, CNC stružnica pa

nam omogoča ponovljivost, natančnost in hitrejšo izdelavo večjih količin kosov, saj največ časa vzame vpenjanje in umerjanje orodij ter izdelava CNC programa. Ko je to dvoje narejeno, so izdelki izdelani zelo hitro in natančno.

Žična erozija

Žična erozija je CNC stroj, ki omogoča rezanje električno prevodnih materialov s pomočjo električnega toka, ki material ob kontaktu upari, voda pa uparjeni material nazaj strdi v obliko mikroskopskih kroglic, kar se opazi kot črn prah, tega pa voda odplakne z mesta izžiganja. Prednost tega stroja je izredna natančnost ter možnost izdelave ostrih notranjih robov, kar je v primeru rezkalnega stroja skoraj nemogoče, saj je notranji radij pogojen s premerom uporabljenega rezkarja. Žična erozija je omejena s tem, da žica poteka od zgornje šobe do spodnje, kar pomeni, da je potrebno rezanje skozi celotno debelino materiala in ne le del tega. Določene žične erozije omogočajo tudi nagibanje žice za določen kot, kar nam še poveča možnosti uporabe takega stroja. Žica pri žični eroziji je narejena iz medenine in ima zelo kontrolirano debelino, saj lahko le s poznavanjem točne debeline žice zagotovimo natančnost rezov.

Potopna erozija

Potopna erozija deluje podobno kot žična erozija z električnim tokom, le da pri tej namesto žice uporabimo oblikovno elektrodo narejeno iz bakra ali grafita, ki jo "potopimo"v obdelovanec. Velikokrat določenih oblik ne moremo narediti v notranjosti, negativ te oblike pa lahko naredimo dokaj enostavno, saj s potopno erozijo dobimo luknjo obratne oblike, kot je elektroda. V primeru potopne erozije za hlajenje in izpiranje materiala uporabimo dielektrično kopel z nizko viskoznostjo namesto vode. To je lahko prednost v primeru, da erodiramo obdelovanec za dalj časa, ki zaradi te kopeli ne oksidira, v primeu vode pa bi v tem času že lahko začel oksidirati, kar lahko uniči kakovost in videz površine izdelka. Elektrode so narejene iz bakra, ker je dober prevodnik in se zaradi tega počasneje obrablja kot material, ki ga erodiramo, saj je elektroda pod podobnimi pogoji kot obdelovanec, kar pomeni, da tudi elektroda erodira in se postopoma uniči.

3D tiskalnik

3D tiskalniki postajajo kakovostnejši, cenovno dostopnejši in na splošno uporabnejši. Zaradi mnogih dobrih lastnosti teh strojev se vedno pogosteje uporabljajo tudi v industriji za mnoge rešitve kot tudi za samo izdelavo prototipov. Obstaja več različnih vrst 3D tiskalnikov, vendar so vsekakor najpogostejši tiskalniki, ki plastičen filament, navit v kolute, ekstrudirajo skozi segreto šobo ter s premikanjem te oblikujejo posamične plasti. Z nalaganjem plasti počasi izdelajo izdelek. To je postopek dodajanja materiala in ne odvzemanja, kot je to običajno pri vseh ostalih postopkih obdelave.

3.2.2 Priprava materiala

Pri vseh orodjih se izdelava začne z izbiro materiala. Mi smo za vse komponente orodij, ki so v kontaktu s pločevino in so zaradi tega pod obremenitvami, izbrali poboljšano jeklo (jeklo kakovosti W.Nr. 1.2312). To jeklo je nekoliko trše in ne potrebuje dodatnih toplotnih obdelav za pridobitev trdote, še posebno, ker je naša pločevina iz aluminija,

ki je mehkejša kovina od jekla. Vse surovce iz izbranega jekla je treba obdelati, tako da pridobimo pravokotnost in vzporednost med stranicami, le tako lahko zagotovimo tolerance in natančnost pri obdelavi z različnih strani, kar zahteva ponovno vpenjanje. To obdelavo začnemo z rezkanjem dveh vzporednih stranic, nato vpnemo ti dve stranici in lahko obdelamo dve dodatni stranici, za tem sledi brušenje na ploščinskem brusilnem stroju. Brušenje nam zagotovi popolno ravnost, pravokotnost in nizko hrapavost med temi štirimi stranicami. To dosežemo podobno kot pri rezkanju, tako da sprva pobrusimo dve vzporedni stranici. Nato obdelovanec vpnemo v natančen primež med dve že brušeni stranici, da zagotovimo pravokotnost, nato lahko nazadnje brušeno stranico postavimo direktno na mizo brusilnega stroja in pobrusimo tej vzporedno stranico. Za tem lahko porezkamo še preostali dve stranici in pri tem vemo, da je pravokotnost tudi teh dveh izpolnjena, saj smo vpeli že obdelane stranice. Če bi želeli, bi lahko na ploščinskem brusilnem stroju pobrusili še zadnji dve stranici, vendar to ni potrebno, saj je pravokotnost ustrezna, le hrapavost površine je nekoliko višja, kar pa v našem primeru ni problematično.

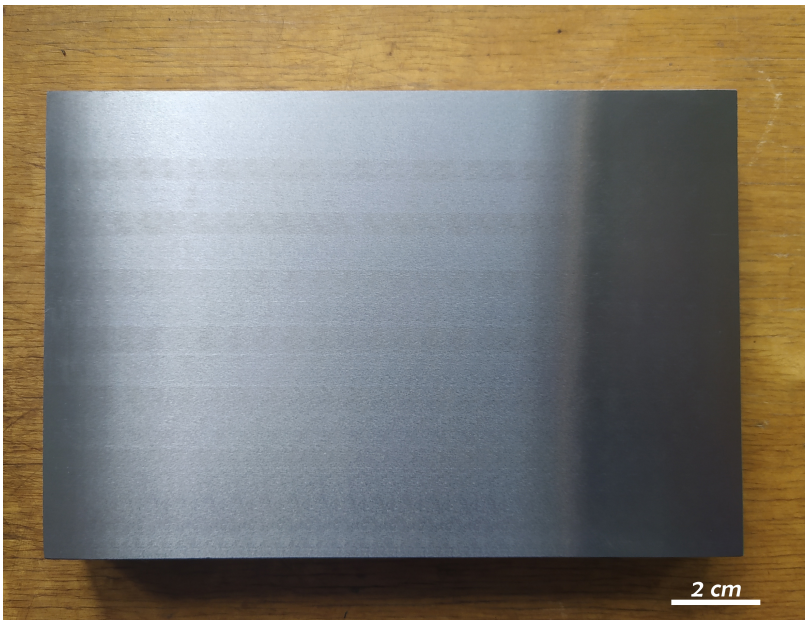
Slika 3.6: Neobdelan surovec [10].

Na slikah 3.6, 3.7 in 3.8 lahko opazujemo potek pripravljanja surovca za izdelavo orodja. Šele po teh opravljenih korakih lahko začnemo s konkretno izdelavo orodij, pri čemer nam ni treba skrbeti, če moramo obdelovanec ponovno vpeti.

Večina dela za tem sledi na rezkalnem stroju, na katerem lahko natančno rezkamo obliko, delamo izvrtine in tako dalje. Orodja, ki nimajo zahtevnih oblik, ki bi jih bilo težko izdelati s klasičnim rezkalnim strojem, smo lahko obdelali sami na klasičen rezkalni stroj. Orodja, ki pa imajo zahtevne radije in druge kompleksne oblike, pa je treba izdelati na sodobnejšem CNC rezkalnem stroju, ki s takimi oblikami nima težav.

Za izdelavo posameznih komponent orodij smo morali izdelati delavniške risbe, pri čemer smo morali biti pozorni na tolerance, tako da se na koncu pri sestavljanju orodij in njihovih delovanjih vse izide. V primeru, da bi bile tolerance neustrezne, se orodje lahko ne bi zaprlo ali pa bi pločevino preveč poškodovalo pri krivljenju, v drugi

Slika 3.7: Rezkan surovec [10].

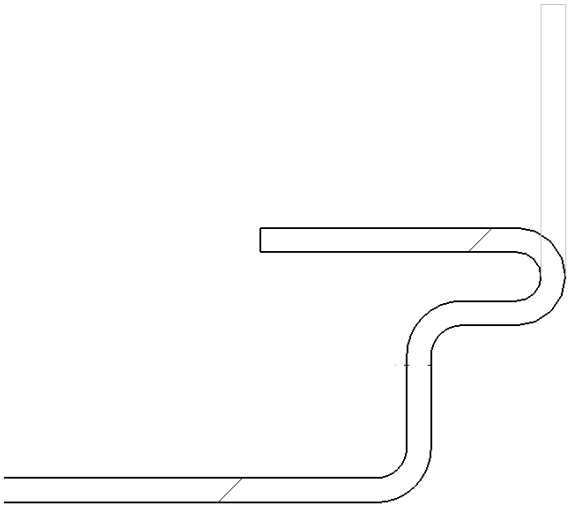


Slika 3.8: Brušen surovec [10].

skrajnosti pa ne bi pločevine ustrezno stisnilo v potrebno obliko oziroma materiala pločevine ne bi dovolj pregnetlo in bi se zapogib po razbremenitvi razprl za večji kot, kot je bilo to predvideno. Ravno zaradi teh razlogov so tolerance zelo pomembne, te se nahajajo na delavniških risbah, kjer jih operater lahko vidi in upošteva. Le tako lahko operater pravilno izdela posamezne komponente. Pri CNC rezkalnem stroju pa mora to predvideti in upoštevati tudi že oseba, ki izdela CNC program za stroj.

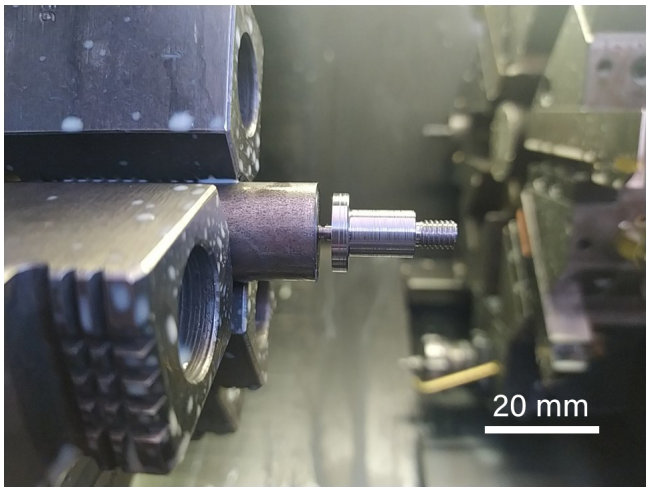
3.2.3 Delovanje in izdelava orodij za krivljenje ohišja

Ohišje je najbolj zapleten in zahteven element kasete, saj ima mnogo zapogibov relativno blizu drug poleg drugega, poleg tega pa vsebuje še dve mesti, ki sta razvidni na sliki 3.2 levo in desno zgoraj, poleg dimenzije e. Na teh dveh mestih material ni le navadno zapognjen, vendar je formiran. Zaradi vseh teh razlogov, predvsem pa tega zadnjega razloga, uporaba klasičnih krivilnih orodij ni mogoča za to komponento kasete. V ta namen smo skonstruirali orodje specifično za izdelavo te komponente, zaradi kompleksnosti komponente pa smo krivljenje razdelili na 2 koraka. Na sliki 3.9 lahko vidimo končni profil z debelejšo črno, s tanjšo sivo črto pa krivljenje opravljeno v prvem koraku. Med korakoma smo imeli namen dodatno preukriviti zadnji nedokončani upogib delno na roke, tako da bi dobili kot nekoliko večji od 90°, vendar smo zaradi ugotovitev, ki smo jih opisali v poglavju 3.3.1, morali izdelati še orodje za predkrivljenje, kjer smo zapogiba, ki smo ju želeli zakriviti ročno, z orodjem zakrivili že prej. Ostale zapogibe bomo lahko z orodjem dokončno naredili že v naslednjem koraku. V zadnjem koraku pa bomo v pločevino še vstavili 3D tiskan vložek iz plastike ter s ploščo pritisnili in zakrivili še zadnje zapogibe do željenega kota 180°. Vložek smo izdelali iz plastike, da pri izvleku vložka po končanem krivljenju nismo poškodovali pločevine in ker je izdelava enostavna, visoka natančnost vložka za krivljenje pa tako ni potrebna. Za končno krivljenje smo morali izdelati še dodatno orodje, tako da smo omejili ohišje, da se ne more pri krivljenju razpreti navzven. Tega smo izdelali iz tekstolita, to je material, katerega lažje obdelujemo in je namenjen za orodja ter opravila, kjer material ni pod prekomernimi obremenitvami.

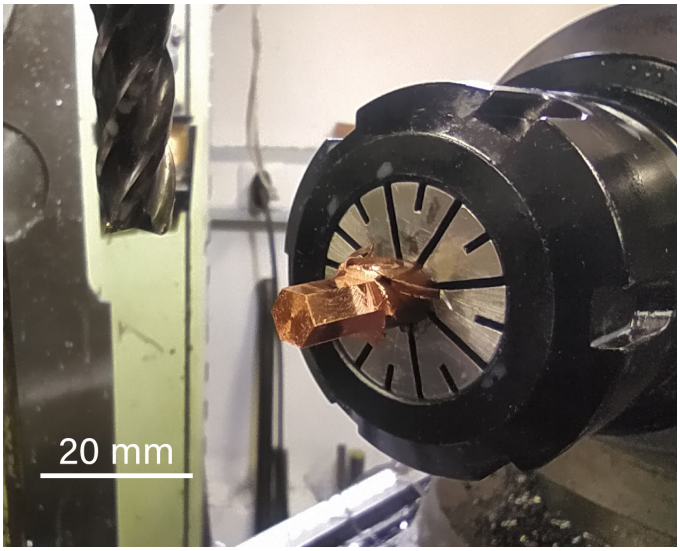


Slika 3.9: Postopno krivljenje ohišja [10].

Razen priprave materiala je izdelava komponent orodij potekala večinoma na CNC rezkalnem stroju, predvsem zaradi mnogih radijev in oblik, ki bi jih bilo zelo težko izdelati z drugimi postopki izdelave. Lahko bi uporabili kombinacijo klasičnega rezkalnega stroja in potopne erozije, vendar bi s tem izdelavo zelo otežili. Na klasičnem rezkalnem stroju smo izdelali orodje za predkrivljenje in orodje iz tekstolita za končno krivljenje.



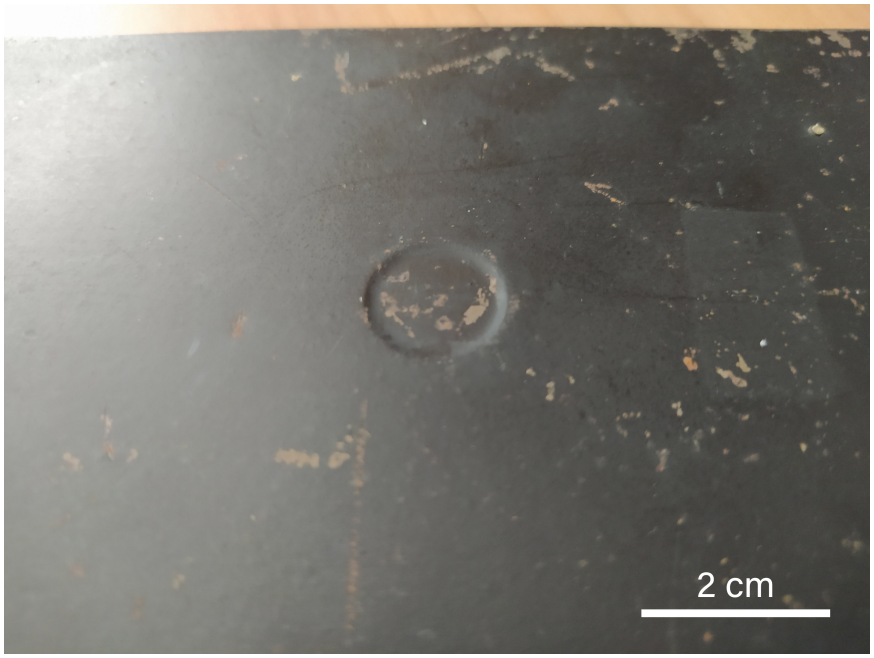
Slika 3.10: Izdelan distančni vijak na CNC stružnici [10].



Slika 3.11: Izdelava elektrode za potopno erozijo [10].

Za orodje ohišja smo potrebovali tudi distančne vijake, ki skrbijo za omejeno gibanje izmetalne plošče v orodju, za izdelavo teh smo uporabili CNC stružnico, in sicer za izdelavo glavne oblike ter urezovanje navoja, kar je prikazano na sliki 3.10. Za tem smo s klasično stružnico zaključili drugo stran vijaka ter zvrtali luknjice za izdelavo oblike za uporabo imbus ključa. Samo obliko luknje za imbus ključ smo izdelali z uporabo potopne erozije, ki ja za ta namen idealni stroj. Ker pa je potopna erozija dokaj počasen postopek, smo z zvrtanimi luknjami zmanjšali količino materiala, potrebnega za odstranjevanje, ter tako pohitrili izdelavo. Ker elektrode za imbus, ki smo ga potrebovali, nismo še imeli izdelane, smo morali le to izdelati iz bakrene palice, ki smo jo z delilnikom porezkali na klasičnem rezkalnem stroju v potrebno obliko. Izdelava elektrode je prikazana na sliki 3.11.

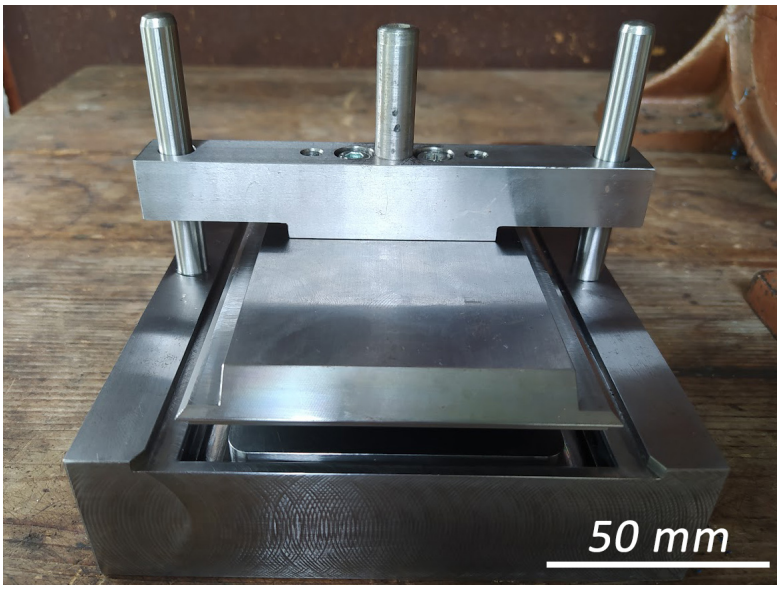
Za namen fukcionalnosti je originalna kaseta vsebovala tudi rahlo vdolbinico na zadnji strani kasete, ta je bila namenjena nalepki, na kateri je bila napisana zaporedna številka kasete. Ta vdolbina je prikazana na sliki 3.12. Številka pa je služila uporabniku za sledenje, katera kaseta je že bila uporabljena in je torej v njej že osvetljen fotografski medij



Slika 3.12: Vtisnjena vdolbina na originalni kaseti [10].

Slika 3.13: Test vtisnjevanja s 3D tiskanimi orodji [10].

v primeru večjega števila kaset, prav tako pa s tem olajša izdelavo morebitnih zapiskov o narejenih fotografijah. Ker je ta vdolbinica globoka le za debelino pločevine, se za izdelavo te uporabi postopek vtiskovanja. Pri tem postopku preoblikovanja pločevine uporabimo spodnjo in zgornjo matrico, kjer ena vsebuje vdolbino, druga pa vzboklino. Pločevino stisnemo med ti dve polovici in na ta način pridobimo želeno vdolbinico v pločevini. Zaradi relativne enostavnosti smo se odločili za namen izdelave teh uporabiti orodja, izdelana s postopkom 3D tiskanja plastike. Za ta postopek smo se odločili, ker je izdelava cenovno ugodna, sama natančnost orodij pa v tem primeru ni tako pomembna. Če bo prišlo do obrabe orodja, pa sta novi polovici orodja natisnjeni relativno



Slika 3.14: Končno orodje za krivljenje ohišja [10].

hitro. Sam material, ki smo ga uporabili, lahko prenese tlačne obremenitve od 50 do 70 MPa [12]. To je več kot dovolj za naš primer, kjer je maksimalna obremenitev okoli 9 MPa, katere pa ne dosežemo pri izdelavi te vdolbinice. Zaradi dvomov o zanesljivosti 3D tiskanih orodij smo natisnili testni polovici orodja in v ročni stiskalnici izvedli test z dobrimi rezultati, kar je prikazano na sliki 3.13. Na tej sliki lahko zgoraj opazimo obe polovici 3D natisnjenega orodja, spodaj pa tri poskuse s pločevino, iz katere bo izdelana kaseta. Ti uspešni rezultati so dali potrditev o uporabnosti 3D tiska za namen izdelave takšnih manjših vtiskovanj v pločevine.

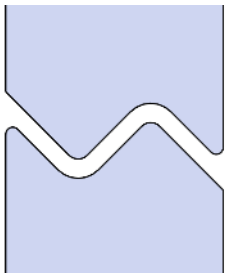
Za orodje za vtiskovanje vdolbinice smo v orodje iz tekstolita vrezkali vdolbino, v katero smo lahko vstavili vložek, izdelan s 3D tiskom, tako je pozicija vdolbinice določena, pozicija kasete pa je dobro ponovljiva. Zgornjo polovico smo izdelali iz aluminija z uporabo klasične stružnice in klasičnega rezkalnega stroja, v ta zgornji del orodja pa smo prav tako vstavili vložek, ki smo ga izdelali s 3D tiskalnikom.

Končno orodje za krivljenje ohišja lahko vidimo na sliki 3.14. Znotraj lahko vidimo izmetalno ploščo, ki nam izmeče krivljenec iz orodja, kot tudi skrbi za krivljenje brez gnetenj pločevine. Zgoraj lahko vidimo vodeni del orodja, ki pločevino potisne v orodje in ga pri tem ustrezno zakrivi.

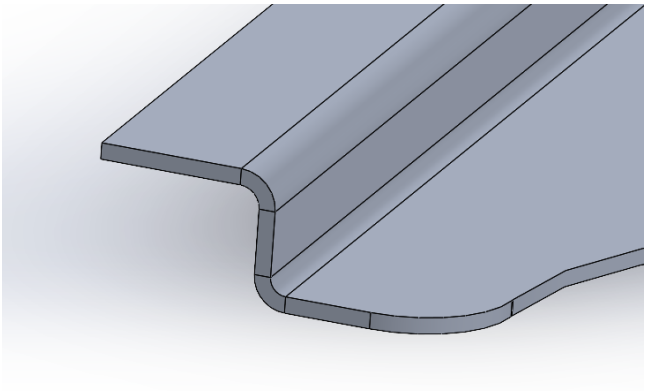
3.2.4 Delovanje in izdelava orodja za krivljenje vložka

Vložek je poleg vzmeti edina komponenta, ki se lahko krivi s standardnimi oblikami orodja. Za tri zapogibe smo izbrali stopničasto obliko, saj ta lahko v enem koraku naredi dva nasprotna 90° zapogiba, tako kot je oblika stopnice, od koder ima tudi to ime. To orodje je prikazano na sliki 3.15. Na sliki 3.16 pa je prikazan predel vložka, za katerega bi tako orodje prišlo v poštev saj s tem ne potrebujemo dveh "Vžapogibov, ampak le enega stopničastega. Na tej sliki je sicer opravljen prerez in zato vložek ni prikazan v polni obliki. En zapogib od štirih pa bo treba opraviti

s klasično "V"obliko orodja, kjer opravimo en 90° zapogib. Vložek ima nase stalno pritrjeno tudi vzmet, ta pa se bo pritrdila z upogibom "jezička", ki je del vložka. To imamo namen narediti ročno s kleščami, saj natančnost ni tako pomembna in se s tam izognemo nepotrebnim komplikacijam z dodatnimi orodji. Ker imamo za izdelavo vložka dve standardni obliki orodja, namreč stopničasto in "V"obliko, smo se odločili uporabiti eno vodilno konstrukcijo, v katero lahko vložimo manjša krivilna orodja, s tem pa smo zmanjšali stroške izdelave kot tudi omogočili relativno hitro in cenovno ugodno menjavo ali izdelavo novih krivilnih oblik. Sama vodilna konstrukcija je sestavljena iz spodnje plošče, v katero se krivilno orodje namesti v točen utor, tako je ta vedno na istem mestu, iz zgornje pločе, ki je pritrjena v ročno stiskalnico, ter dveh vodilnih stebrov, ki skrbita za precizno pomikanje zgornje plošče, tako da je vedno vzporedna s spodnjo ploščo.



Slika 3.15: Prikaz stopničastega orodja [10].



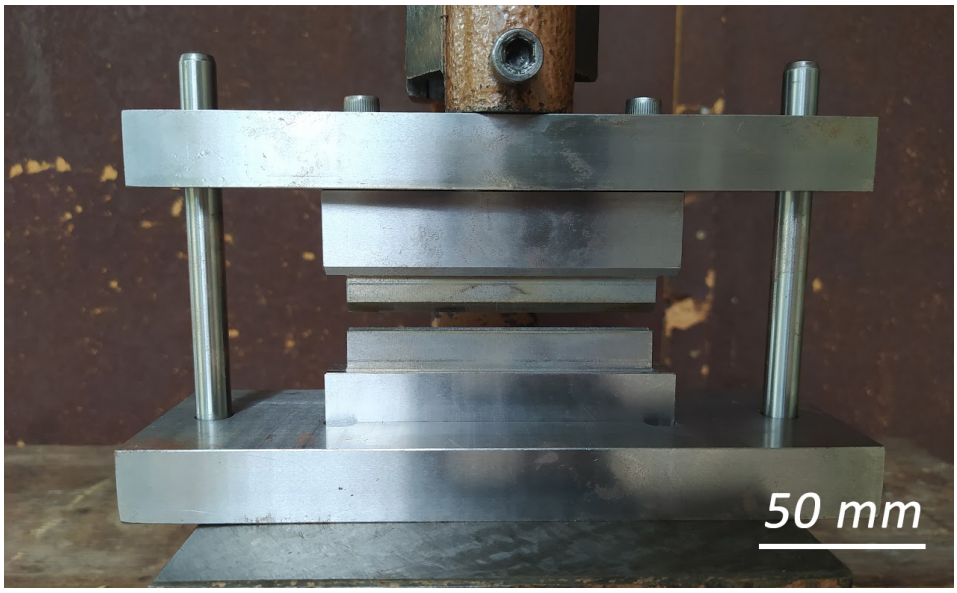
Slika 3.16: Prikaz stopničastega zapogiba vložka [10].

Za večino izdelave smo lahko uporabili klasičen rezkalni stroj, saj so oblike komponent enostavne in enostavno izvedljive na klasičnem stroju. Luknje, v katerih sta vstavljena, in luknje, po katerih drsita vodilna drogova, smo morali povrtati, tako da smo zagotovili dobro drsenje, ne da bi nam orodje zapiralo in oteževalo delovanje ter uporabo. Za krivilna mesta krivilnih orodij smo uporabili žično erozijo, prikazano na sliki 3.17, ki lahko enostavno izdela tudi pomembne radije, ki jih želimo uporabiti za krivljenje.

Končno orodje lahko vidimo na sliki 3.18, ki prikazuje, kako je orodje sestavljeno. Med spodnjo in zgornjo nosilno ploščo lahko vidimo vstavljena manjša krivilna orodja, ki jih lahko izmenjujemo z drugimi krivilnimi oblikami.

Krivljenje vzmeti smo opravili z dvema manjšima V zapogiboma, tako da je v sredini nekaj ravnine, na tem mestu pa bo "jeziček"vložka držal vzmet na mestu. Ker je vzmet

Slika 3.17: Obdelava z žično erozijo [10].



Slika 3.18: Zaključeno orodje za krivljenje drsnika [10].

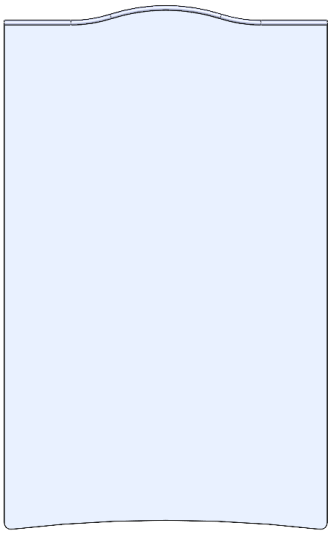
izdelana iz vzmetnega jekla, smo morali pri zapogibanju dokaj prekriviti vzmet, tako da je po krivljenju obdržala določen kot, ki ga želimo.

3.2.5 Delovanje in izdelava orodja drsnika

Ta komponenta prikazana na sliki 3.20 na prvi pogled nima kompleksne krivilne naloge, saj bi krivljenje lahko bilo opravljeno z dvema relativno enostavno izvedenima zapogiboma. Oblika zapogiba je prikazana na sliki 3.19. Pri tej komponenti pa tako enostavnejše krivljenje ni izvedljivo, saj lahko nastopijo težave zaradi zgornje končne

oblike drsnika, kar je dobro razvidno na sliki 3.20, na kateri lahko opazimo, da krivilna ravnina ni ravna. Pri takem krivljenju lahko pride do nepredvidljivih gnetenj materiala. Zaradi teh komplikacij smo se odločili za uporabo namenskega orodja.

Slika 3.19: Prikaz zapogiba drsnika [10].

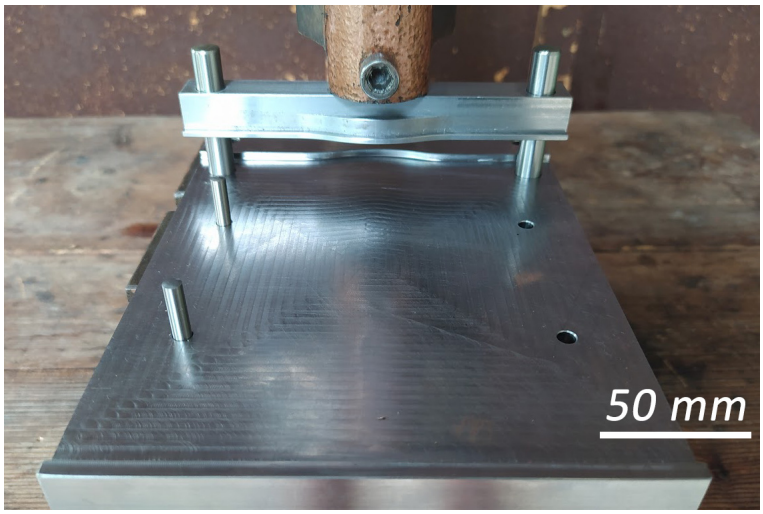


Slika 3.20: Prikaz oblike drsnika [10].

Krivljenje imamo namen opraviti v treh korakih. V prvem koraku orodje opravi 90° "Lžapogib, ki mu sledi drugi korak, v katerem je orodje še vedno stisnjeno od prvega koraka in s potiskom naredimo še en 90° "Lžapogib. Ta zapogib je delno krivljenje 180° zapogiba prikazanega na sliki 3.19. V tretjem koraku pa drsnik ponovno stisnemo, pri čemer zaključimo zapogibanje 180° kota. S tako izbiro postopka krivljenja se orodje relativno poenostavi ter ne predstavlja prevelike problematike pri krivljenju.

Zaradi zaokrožene oblike zapogiba drsnika mora tudi orodje biti podobne oblike, zato so te komponente orodja morale biti izdelane s CNC rezkalnim strojem, ki je te oblike lahko izdelal brez težav. Zaradi oblike smo lahko eno od komponent za krivljenje drugega koraka izdelali z žično erozijo, saj je oblika potekala po celi debelini komponente, kar je pogoj za uporabo tega stroja za obdelavo.

Končno orodje je prikazano na sliki 3.21, na kateri vidimo osnovno ploščo, vodilna drogova, in krivilni čep. Ta ima, kot smo že opisali, krivilna robova na obeh straneh in ga med krivljenjem obrnemo, tako da uporabimo v prvem koraku enega, v zadnjem koraku pa drugega.



Slika 3.21: Uporabljeno orodje za krivljenje drsnika [10].

3.2.6 Omejevalci krivilnih orodji

Za zagotavljanje ponovljivosti in hkrati hitrosti krivljenja se pri krivljenju uporablja omejevalce pomikov. To so komponente, na katere naslonimo pločevino, ki jo nato zakrivimo. Za izdelavo omejevalcev smo se odločil uporabiti 3D tiskalnike, saj bomo tako lahko enostavno izdelali nove omejevalce v primeru, da bi bilo to potrebno zaradi kakšne spremembe. Prav tako pa je izdelava relativno hitra, cena izdelave pa je zelo nizka. Natančnost 3D tiskanja je $\pm 0{,}1\ mm$, kar zadostuje za to uporabo. V naših primerih bomo 3D tiskane omejevalce uporabili le pri orodju vložka, saj smo orodja ohišja in drsnika zasnovali tako, da so omejevalci že vključeni v konstrukcijo teh.

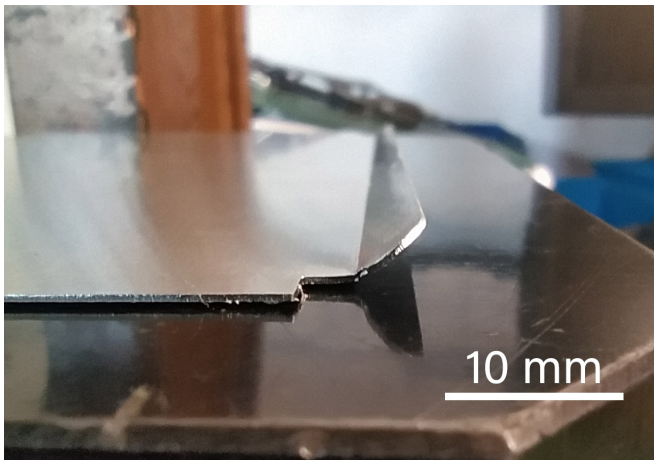
3.3 Krivljenje komponent

Z izdelanimi krivilnimi orodji se lahko lotimo krivljenja komponent. Pri vsakem posameznem orodju moramo nastaviti višine, razdalje in omejevalce, tako da ročna stiskalnica, ki jo uporabljamo, pride do ravno prave višine. S tem dosežemo ničelno oziroma negativno zračnost v rangu nekaj 10 µm in pri tem pločevino nekoliko preobremenimo. S preveliko negativno zračnostjo lahko pločevino poškodujemo več, kot bi bilo potrebno, s preveliko zračnostjo pa se lahko pločevina prekomerno odkrivi in ne dosežemo želenega kota zapogiba. Poleg tega pa moramo pri krivljenju poskrbeti za pravo zaporedje krivljenja.

3.3.1 Krivljenje ohišja

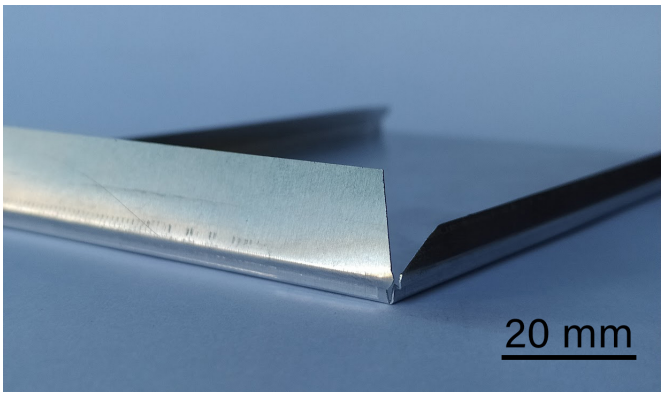
Za krivljenje ohišja smo sprva predvidevali, da bo potekalo dokaj brez komplikacij in težav, vendar smo se pri tem nekoliko zmotili, saj se je pločevina obnašala nekoliko drugače, kot smo to sprva predvideli. Ugotovili smo, da se pri dodatnem ročnem krivljenju opisanem v poglavju 3.2.3 pločevina nekoliko poškoduje in zaradi ovir v orodju tega krivljenja ne moremo opraviti zadovoljivo. Sprva smo pločevino predkrivili,

kjer smo te zapogibe opravili pred glavnim krivljenjem in ne, kot smo sprva načrtovali. Tako smo pločevino vstavili v orodje za predkrivljenje, s čimer smo dobili 45° kot na obeh straneh. Rezultat pred krivljenjem je prikazan na sliki 3.22.



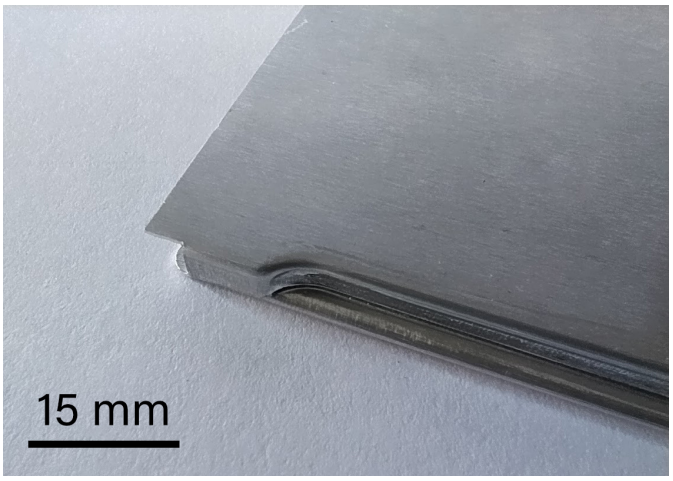
Slika 3.22: Predkrivljenje pločevine ohišja [10].

Drugo, glavno krivljenje poteka tako, da v orodje vstavimo pločevino, orodje pa je že zasnovano tako, da imamo gibanje pločevine omejeno v vse smeri. Z vstavljeno pločevino, vse skupaj stisnemo z ročno stiskalnico. Zaradi veliko zapogibov kot tudi samega formiranja oblike na zgornjem delu kasete smo pri tem krivljenju uporabili skoraj celotno zmožnost take manjše ročne stiskalnice. Prikaz ohišja po glavnem krivljenju lahko vidimo na sliki 3.23, na kateri vidimo, da je ohišje še delno odprto, kar smo zaključili v naslednjem koraku. Na sliki 3.24 lahko vidimo formirano obliko, ki se je oblikovala zelo lepo, saj je na tem mestu pločevina med krivljenjem pod velikimi obremenitvami.



Slika 3.23: Rezultat glavnega krivljenja pločevine [10].

Za zadnje krivljenje oblike v pločevino vstavimo 3D tiskano jedro in vse skupaj vstavimo v orodje iz tekstolita, kjer ga s ponovnim stiskom ročne stiskalnice dokončno zakrivimo. Za tem orodje odpremo in iz zakrivljenega ohišja odstranimo 3D tiskano jedro. Zaradi manjših izpraznitev v glavnem orodju za krivljenje ohišja, ki smo jih naredili za lažje rezkanje oblike, smo morali te dele nekoliko še popraviti, saj se na teh mestih pločevina ni najbolje zakrivila v popolnoma pravilno obliko.



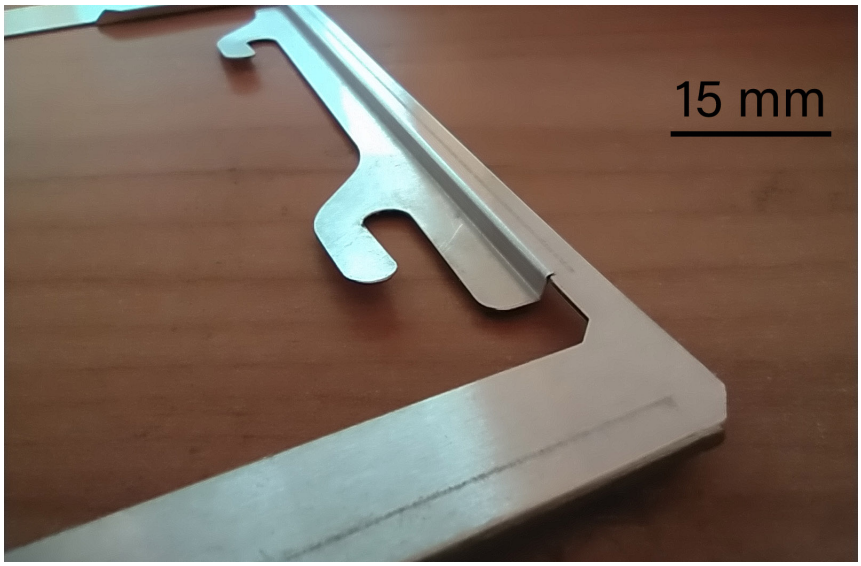
Slika 3.24: Prikaz kompleksnega detajla po končanem krivljenju ohišja [10].

Za tem smo v orodje iz tekstolita vstavili vložek za formiranje vdolbinice za nalepke. Sprva smo orodje testirali z različnimi silami obremenitve, tako da smo dobili idealno vdolbino, pri čemer smo v orodje vstavili ohišje in oblikovali vdolbinico. Za tem je bilo ohišje pripravljeno na varjenje reže.

3.3.2 Krivljenje vložka

Kot že opisano v poglavju 3.2.4, so pri krivljenju vložka potrebni trije zapogibi, dva s stopničastim orodjem in en z "V"orodjem. Pred krivljenjem smo orodja morali nastaviti tako, da smo zgornji del orodja pustili še ne popolnoma privit ter tako stisnili enako debelino pločevine, kot je vložek. Šele za tem smo orodje zategnili do konca in ga s tem popolnoma fiksirali, saj se je tako zgornji del orodja postavil in pozicioniral popolnoma vzporedno s spodnjim delom orodja. Ko je bila nastavljena vzporednost, smo morali nastaviti še višino ročne stiskalnice tako, da smo postopoma končno oddaljenost zmanjševali in medtem preizkušali zapogibati pločevino. Pri zapogibih smo sproti opazovali kot po razbremenitvi in poškodbe materiala in tako določili pravo in sprejemljivo razmerje teh karakteristik.

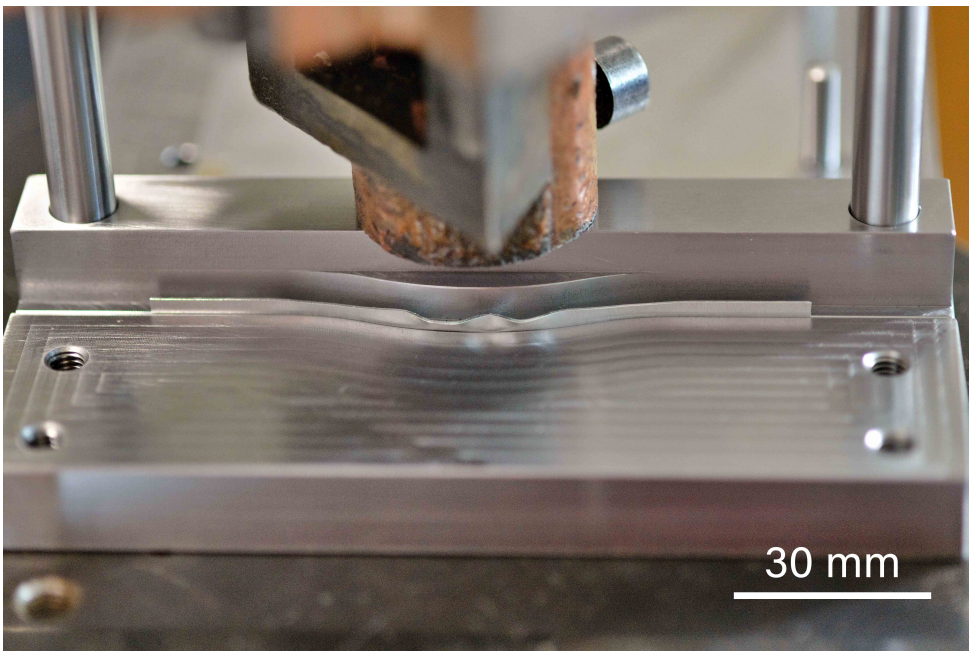
Z nastavljenim orodjem smo na orodje namestili 3D tiskane mase, opisane v poglavju 3.2.6. Nato je bilo krivljenje dokaj enostavno, saj smo pločevino, izrezano z laserjem, le potisnili v orodje do omejitve orodja ter ročno stiskalnico stisnili tako, da smo vložek zakrivili. Prvi zapogib smo ponovili še na drugi strani, pri čemer smo morali maso zamenjati za drugo ter opraviti še tretji zapogib. Z opravljenimi prvimi tremi zapogibi smo morali orodje zamenjati za V orodje, pri katerem smo ponovili postopek nastavljanja, ki smo ga opisali zgoraj. Tako smo opravili še zadnji zapogib na vložku ter ga s tem zaključili. Stopničasti zapogib je prikazan na sliki 3.25. Na sliki lahko opazimo elastično izravnavanje pločevine, saj smo uporabili orodje z dvema 90° kotoma, zapogiba pa nista čisto pod 90°, ker se je pločevina nekoliko plastično izravnala. Ker v našem primeru to ustreza potrebam, je tako elastično izravnavanje dopustno. Ob zapogibu pa lahko na pločevini opazimo rahlo črto, kar je poškodba materiala od orodja. Ker je ta poškodba zelo površinska, bomo to poškodbo zlahka odpravili z barvanjem površine.



Slika 3.25: Prikaz stopničastega zapogiba vložka [10].

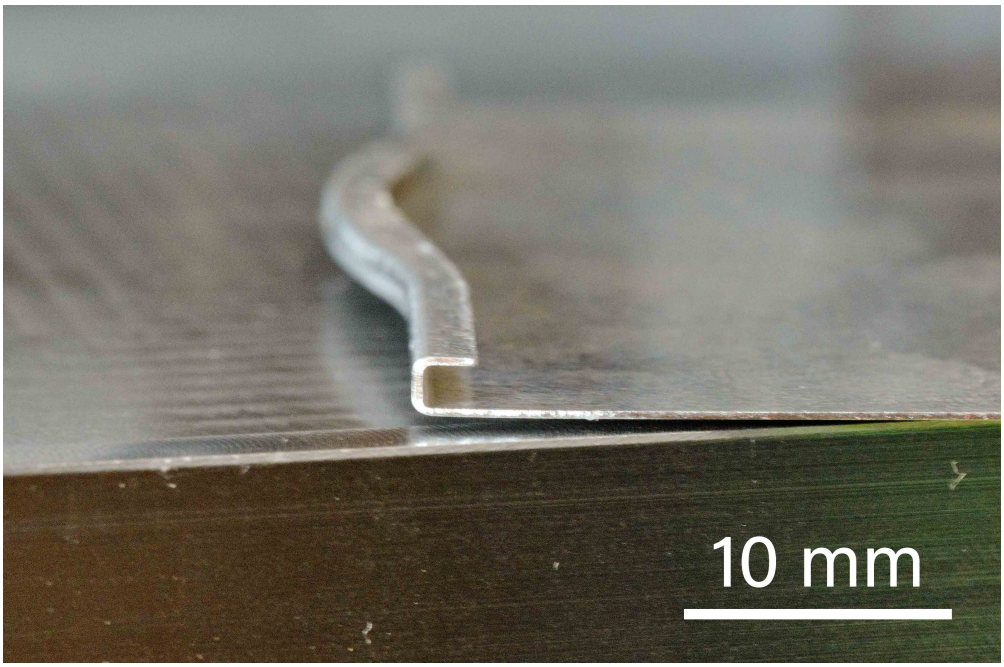
3.3.3 Krivljenje drsnika

Drsnik je pomembna komponenta, ki je stalno rokovana, saj jo za vsako uporabo kasete izvlečemo in nazaj vstavimo vsaj trikrat. Sam zapogib te komponente nima fukcijske pomembnosti, razen tega, da nam izboljša uporabniško izkušnjo z boljšim oprijemom drsnika kot tudi lepšim videzom.



Slika 3.26: Prikaz prvega krivljenja drsnika [10].

Krivljenje poteka tako, da v orodje vstavimo pločevino. Omejitve so vdelane v orodje, tako da je pozicija pločevine točno določena. Za tem zgornji del orodja stisnemo z ročno stiskalnico, da naredimo prvi zapogib. Zaradi krivine zapogiba pride do gubanja materiala, kot lahko to opazimo na sliki 3.26. V pločevino s stisnjeno stiskalnico zapeljemo



Slika 3.27: Prikaz rezultata drugega krivljenja drsnika [10].

drugo polovico orodja, da s tem opravimo drugi zapogib. Ročno stiskalnico odpremo in iz orodja odstranimo drsnik. Na sliki lahko opazimo, da se je gubanje, ustvarjeno v prvem zapogibu, izravnalo in smo tako dobili lepo predvideno obliko zapogiba. Obrnemo tudi zgornjo polovico orodja, saj smo jo izdelali ekscentrično, tako da imamo v enem kosu orodja hkrati dve funkciji. Z obrnjeno zgornjo polovico drsnik še zadnjič stisnemo z ročno stiskalnico in zaključimo krivljenje drsnika. Orodje še odpremo in iz njega vzamemo zakrivljen drsnik.

3.4 Spajanje pločevine

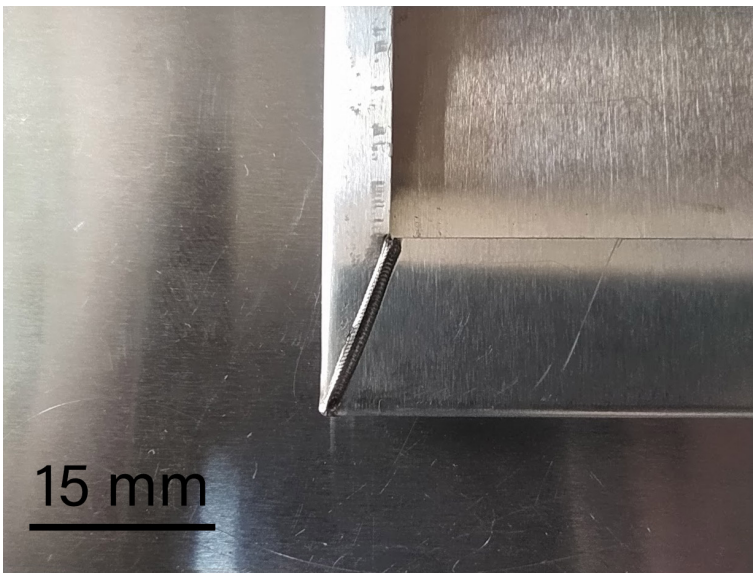
Zaradi zahtevane svetlobne tesnosti moramo poskrbeti, da primerno zapremo vse špranje ohišja kasete. Lokacija, ki jo moramo ustrezno zapreti, je prikazana na sliki 3.4. Kot smo že na kratko opisali v poglavju 3.1.2, je bila originalno ta špranja pri zapogibu zaprta z mehkim lotom.

Zaradi uporabljene tanke pločevine bi bili klasični MIG, MAG in TIG postopki varjenja zelo zahtevni, saj bi zaradi visokih temperatur in majhne velikosti oziroma mase izdelka var izdelali zelo grdo ali pa bi izdelek celo uničili. Obstaja tudi uporovno varjenje, pri katerem spustimo tok čez material, ki se zaradi notranje upornosti močno segreje in se pri tem zavari, vendar je za take vare običajno potrebno prekrivanje, česar pa v tem primeru ni, saj imamo čelni stik pločevine. Na izbiri ostaja spajkanje, lotanje ter pa lasersko varjenje, saj le-to material pretopi le na zelo majhnem in točno določenem mestu ter se tako material v bližini vara ne more deformirati ali pa staliti, prav tako je zelo precizno in pod nadzorom. Za lasersko varjenje potrebujemo laserski varilni stroj, ki je drag, ali pa varjenje dati izdelati podjetju, ki tak stroj ima. Lotanje ali spajkanje pa lahko opravimo sami z gorilniki, ki niso dragi. Z laserskim varjenjem bi ustvarili lep

in enakomeren var. Pri vseh postopkih pa bi morali dodati nekaj materiala, da špranjo zalijemo z materialom. Spajke so sestavljene iz drugih kovin, tako da sam var ne bi bil enak kot preostali material, saj bi to lahko vplivalo na površinsko zaščito in videz, kar bi lahko bilo moteče.

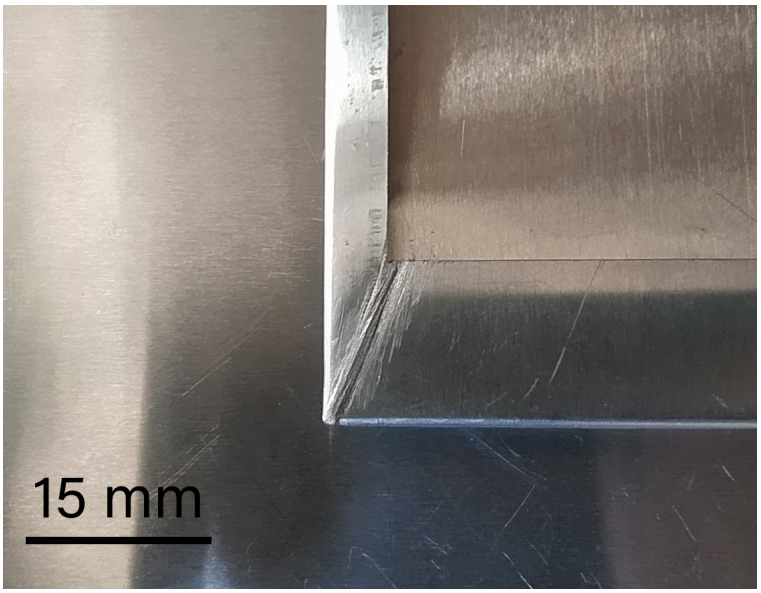
Zaradi prednosti in slabosti posameznih postopkov smo se odločili preizkusiti lasersko varjenje ter lotanje. Tako lahko primerjamo kakovost in videz obeh postopkov spajanj ter kako zahtevno je tak var izdelati.

Za lotanje aluminija je potreben poseben lot, ki se veže in omoči aluminij. Večina običajnih lotov nam ne omogoča lotanje aluminija. S takim posebnim lotom smo preizkusili lotanje, kjer smo ugotovili, da je to opravilo dokaj zahtevno. Palice lota, ki smo jih uporabili so bile predebele, stanjšati pa se jih ni dalo, ker so bile krhke, zato bi morali material prekomerno predogreti. To bi povzročilo, da bi se naša pločevina raztopila, preden bi nam uspelo lot zadovoljivo ogreti, da bi aluminij uspel omočiti. Zaradi tega smo lotanje opustili za namen ustreznega spajanja pločevine za ta izdelek.



Slika 3.28: Laserski var [10].

Lasersko varjenje smo dali izdelati podjetju, ki je to delo opravilo hitro in kakovostno, var je prikazan na sliki 3.28. Zaradi nekolikšnega dodajanja materila smo var morali po varjenju še nekoliko popiliti in obrusiti, tako da smo ga poravnali z ostalo površino pločevine, kar je prikazano na sliki 3.29. Tako smo dobili močen in zanesljiv var brez špranj, skozi katere bi lahko v notranjost kasete uhajala svetloba.



Slika 3.29: Laserski var po piljenju in brušenju [10].

3.5 Površinska zaščita komponent

Kot že opisano v poglavju 2.3, smo za površinsko zaščito izbrali črno matirano eloksiranje. V našem primeru smo naše komponente predali podjetju, kjer so komponente predobdelali ter nato eloksirali izdelke v črno barvo. Zaradi teksture, neenakomerne površine in nekoliko drugačnega materiala vara lahko var opazimo tudi po eloksiranju, vendar to ni tako moteče, da bi nam povsem uničilo videz kasete, saj se tudi na var prime nekaj črne barve. Predobdelava pred eloksiranjem se lahko razlikuje po jakosti, saj lahko izbiramo stopnjo matiranja. Prav tako lahko uporabljamo za matiranje jedkanje ali peskanje, ki lahko da drugačen efekt površini.

3.6 Sestavljanje komponent v izdelek

Ko imamo pripravljene vse komponente, se lahko lotimo samega sestavljanja končnega izdelka. Najprej smo morali vzmet trajno pritrditi na vložek, tako da smo zapognili jeziček ter s stiskom pločevine pritrdili vzmet. Zaradi enakomerne obremenitve na obeh straneh vzmeti ni treba, da je ta pritrditev posebno močna, ampak le tolikšna, da se vzmet ne premakne sama od sebe. S pritrditvijo vzmeti na vložek so ogrodje, vložek in drsnik pripravljeni na sestavljanje.

Vložek vstavimo v ogrodje ter z "V"orodjem, zasnovanim za krivljenje enega od zapogibov vložka, zakrivimo del ogrodja ter s tem preprečimo vložku izstop iz ogrodja in ga tako trajno fiksiramo. Nato v ta sestav na zgorji del vložka nalepimo trak z dlačicami, ki je namenjen zaustavljanju svetlobe z mesta, od koder izvlečemo drsnik, da ta ne more vstopiti v kaseto med uporabo. Ta trak smo izbrali na podlagi originalno uporabljenega na starejši kaseti. Pomembno je, da ima trak trše in goste dlačice, ki se ponovno postavijo pokonci, ko drsnik izvlečemo. Najbolj ustrezni barvi sta rdeča in črna, saj ti dve absorbirata vso svetlobo, nevarno za naš fotografski medij.

Na koncu še vstavimo drsnik ter s tem zaključimo izdelavo kasete. Drsnik na mestu ostane zaradi trenja, vendar se ga brez truda lahko izvleče in ponovno vstavi in tako zagotovi ustrezno delovanje kasete. V primeru, da bi bilo trenje nekoliko previsoko, lahko na drsne površine drsnika nanesemo manjšo količino strojne masti, s čimer trenje lahko nekoliko zmanjšamo ter tako zagotovimo kakovostno delovanje.

3.7 Testiranje kasete

Ker je izdelek namenjen uporabi, moramo delovanje izdelka obsežno testirati in s tem zagotoviti njegovo ustrezno delovanje. Testirati moramo prilagajanje fotoaparatu, primerjati dimenzije s predvidenemi in testirati kasete v dejanskem okolju in v primeru, v katerem bo kaseta uporabljena.

3.7.1 Ustreznost dimenzij in videz kasete

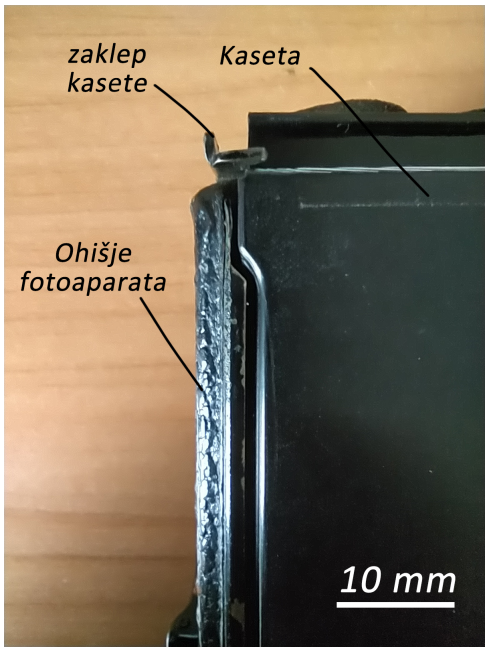
Za ugotavljanje ustreznosti kasete smo z uporabo kljunastega merila najprej opravili meritve pomembnih dimenzij kasete ter jih nato primerjali s pričakovanimi. Meritve smo zaokrožili na eno decimalno mesto, saj večja natančnost v našem primeru ni potrebna. Z opravljenimi meritvami, prikazanimi v preglednici 3.2, smo ugotovili, da so dimenzije znotraj dovoljenega območja, zato je kaseta ustrezna. Za tem lahko preizkusimo, kako ustrezno se kaseta prilega fotoaparatom, za katere je kaseta narejena. Če kaseto primerjamo z originalnimi kasetami, mora kaseta lepo drseti, vendar vseeno imeti dovolj trenja in tesnosti, da kaseta sedi na pravi fokusni oddaljenosti od leče in da svetloba ne more obiti roba kasete ter osvetliti fotografskega medija, ko je kaseta v fotoaparatu z odstranjenim drsnikom. Na sliki 3.30 lahko opazimo kaseto, nameščeno v velikoformatni fotoaparat, izdelan po evropskih standardih. Kaseta se ustrezno prilega, ter zato izpolnjuje naše zahteve. Na sliki lahko vidimo zaklep kasete, ki skrbi, da ta ne more pasti iz fotoaparata.

Preglednica 3.2: Primerjava predvidenih in izmerjenih meritev kasete [10].

Dimenzije normalnega pregiba [mm]								
	a	b	c	d		e	f	
Kaseta predvideno	96	100,4	68	149	-0,2	9	1,6	+0,1
Kaseta realno	96,1	100,4	68,9	148,8		8	1,7	

3.7.2 Testiranje s fotografskim medijem

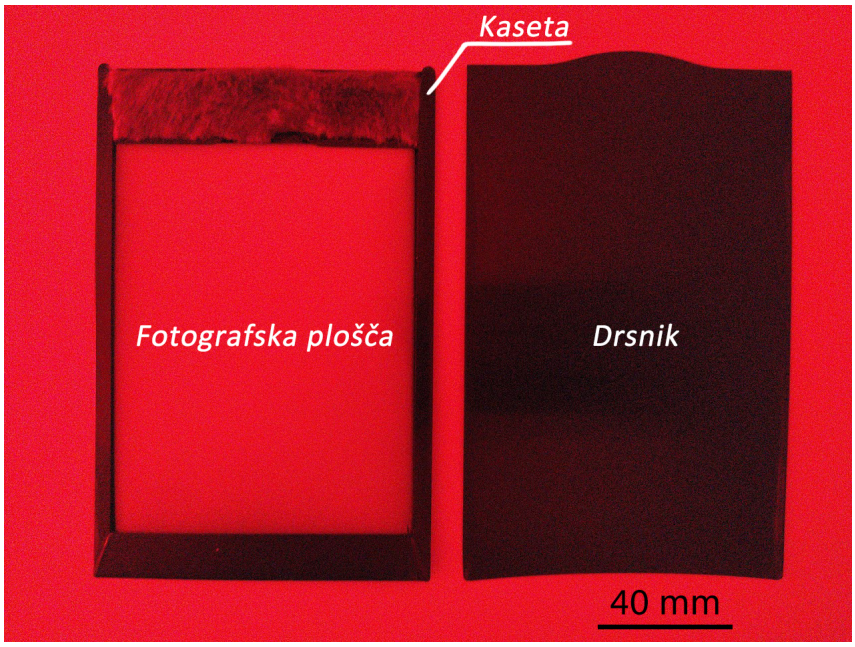
Najboljši test kasete je uporaba v realni situaciji. Za teste smo uporabili velikoformatne suhe plošče, to so steklene plošče, na katere je nanešena posušena fotografska emulzija, na podlagi česar je dobila ime suha plošča. Za občutljivost fotografske emulzije na svetlobo se uporablja število in označbo ASA, ki ni enota, le pove, da je občutljivost določena po ameriškem standardu. Današnji uporabljen standard je ISO 5800 : 2001, ki zavzema tako ameriški kot manj uporabljen evropski standard za označevanje hitrosti



Slika 3.30: Prikaz kasete, nameščene v velikoformatni fotoaparat [10].

fotografskih emulzij. Večje število pomeni večjo občutljivost na svetlobo. Občutljivosti pa so opredeljene na podvojitev oziroma razpolovitev vrednosti in potrebne svetlobe, na primer 100 ASA potrebuje za osvetlitev neko količino svetlobe, za osvetlitev 200 ASA emulzije potrebujemo polovico količine svetlobe in obratno, za 50 ASA emulzijo potrebujemo dvojno količino svetlobe. Uporabljena fotografska emulzija ima nizko občutljivost okoli ASA 2, zaradi tega za osvetlitev take plošče potrebujemo 5 stopenj oziroma 32x več svetlobe kot za klasičen fotografski film občutljivosti 100 ASA. Ta emulzija je tudi osnovna emulzija, kar pomeni, da je občutljiva le na modro in ultravijolično svetlobo. To je naravna občutljivost fotografskih emulzij. Z dodajanjem določenih barvil lahko to občutljivost razširimo še v zeleno in rdeče območje ter tako zajamemo celoten viden spekter svetlobe. Ker pa mi uporabljamo osnovno emulzijo, ki na rdečo svetlobo ni občutljiva, lahko plošče vstavljamo v kaseto in iz nje pod rdečimi lučmi, ne da bi te osvetlili in jih uničili. Poleg tega pa lahko plošče tudi razvijamo pod rdečimi lučmi in ves postopek opazujemo. Ploščo, vstavljeno v našo kaseto, pripravljeno za testiranje lahko opazimo na sliki 3.31.

Razvijanje poteka tako, da plošče potopimo v razvijalec, ki vsebuje določene kemikalije, ki oksidirajo kristale srebrovih soli, ki so bile osvetljene s svetlobo. Zaradi tega osvetljeni predeli fotografije počrnijo, predeli, ki pa svetlobe niso prejeli, pa ostanejo beli. Ker razvijanje lahko opazujemo pod rdečo lučjo, lahko v primeru, da smo plošče preveč ali premalo osvetlili v fotoaparatu, razvijamo manj ali dlje časa ter tako kompenziramo stopnjo razvitosti fotografije, tako da dobimo dobro fotografijo. Ko se fotografija uspešno razvije, moramo z izpiranjem v vodi odstraniti razvijalec s plošče. Nato sledi fiksiranje fotografije, kar naredimo s fotografskim fiksirjem, ki ima lastnost raztaplanja srebrovih soli, oksidiranega srebra pa ne. S tem beli nerazviti predeli postanejo prosojni, saj odstranimo vse srebrove soli. Predeli, ki so med razvijanjem počrneli, pa ostanejo nedotaknjeni. Ko vsi beli predeli izginejo, moramo ploščo ponovno oprati v vodi, da odstranimo ves preostali fiksir ter s tem zagotovimo arhivsko obstojnost



Slika 3.31: Fotografsko steklo, vstavljeno v našo kaseto, slikano v temnici pod rdečo lučjo [10].

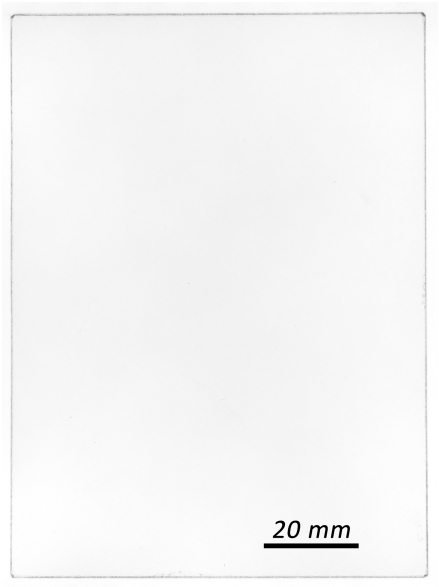
plošč. Po tem opravljenem postopku razvijanja suhih plošč moramo plošče pustiti, da se posušijo ter jih lahko kasneje digitalno poskeniramo ali uporabimo kot vir za analogno izdelovanje pozitivnih fotografij.

Slika 3.32: Prvi rezultat testa tesnjenja [10].

Sprva lahko kaseto testiramo tako, da vanjo vstavimo suho ploščo ter kaseto zapremo z drsnikom. Za tem zaprto kaseto postavimo in obračamo na soncu, ki je močan vir svetlobe. Čez nekaj časa kaseto nesemo v temnico z rdečo lučjo ter tam ploščo razvijemo. V primeru, da kaseta dobro tesni svetlobo, bi plošča morala ostati neosvetljena,

v primeru slabe svetlobne tesnosti pa bi se na plošči razvila črna sled na mestu, kjer je v kaseto prodrla svetloba. Na sliki 3.32 lahko opazimo nekaj črnih sledi, te nam pomagajo diagnosticirati probleme in lokacije svetlobnega uhajanja. S tem testom smo našli težavna mesta, tako da smo spremljali orientacijo plošče ter opazovali oblike osvetljenih predelov.

Na sliki 3.32 lahko desno zgoraj opazimo največji osvetljeni predel, kjer lahko na desni opazimo obliko, ki se prilega obliki vložka, ki je na tem mestu pod ploščo. To nam je povedalo, da je na tem mestu svetloba v kaseto prihajala izpod vložka. Opazili smo namreč, da je ta nekoliko odmaknjen od ohišja. Težavo smo odpravili tako, da smo vložek prilepili na ohišje. Osvetljen predel levo zgoraj je bil najverjetneje povzročen zaradi prehoda svetlobe skozi trak z dlačicami, saj se ta problem na tem mestu ni ponovil, saj se dlačice na traku vedno postavijo drugače. Osvetlitev levo spodaj je nastala zaradi majhne neopazne luknjice v varu, ko smo ga pilili. Na to mesto smo nanesli manjšo količino neprosojnega dvokomponentnega lepila, ki je to luknjico zaprl, v prihodnje pa moramo biti bolj pozorni pri piljenju in brušenju laserskega vara oziroma tega opraviti kvalitetnejše. Tako so bila svetlobna uhajanja rešena, kar smo dokazali z neosvetljeno ploščo, prikazano na sliki 3.33. S tem smo uspešno naredili kaseto, ki dobro tesni svetlobo, ter jo tako pripravili za nadaljnjo uporabo.



Slika 3.33: Končni rezultat testa tesnjenja [10].

Z uspešnim testom tesnjenja svetlobe lahko kaseto preizkusimo na realnem primeru. Fotoaparat moramo postaviti na fotografsko stojalo, saj moramo sliko zajemati relativno dolgo časa, ker so suhe plošče zelo slabo občutljive na svetlobo. Za tem s pomočjo mlečnega stekla sceno, ki jo želimo fotografirati, fokusiramo. V kaseto nato vstavimo novo suho ploščo in jo vstavimo v fotoaparat, izvlečemo drsnik ter naredimo fotografijo. Drsnik vstavimo nazaj v kaseto ter jo odnesemo v temnico. Tam našo fotografijo razvijemo ter sproti opazujemo stopnjo razvitosti, po potrebi razvijanje skrajšamo ali podaljšamo.

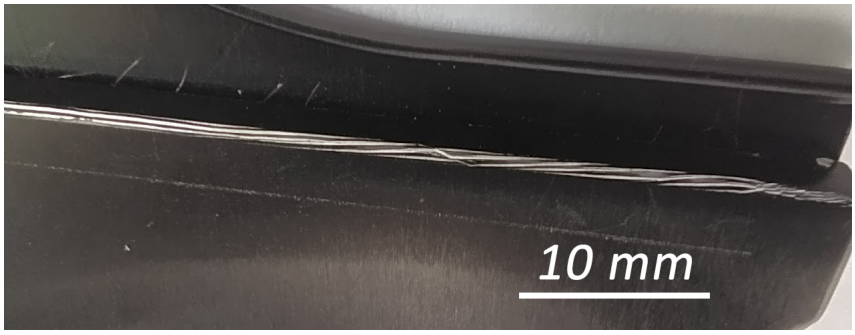
4 Rezultati

V tem poglavju bomo predstavili rezultate ugotovljene in pridobljene med izdelavo tega diplomskega dela.

4.1 Rezultati krivljenja

Krivljenje vložka in drsnika nam je podalo ustrezna izdelka, ki sta ustrezala vsem dimenzijskim in estetskim potrebam. Koti elastičnega zravnanja so bili v rangu nekaj kotnih ° in tako niso vplivali na funkcijo kasete. Krivljenje nam je na površini ustvarilo odtise oziroma manjše praske, ki so bile delno odpravljene v predobdelavi eloksiranja, kot smo to opisali v poglavju 2.3.

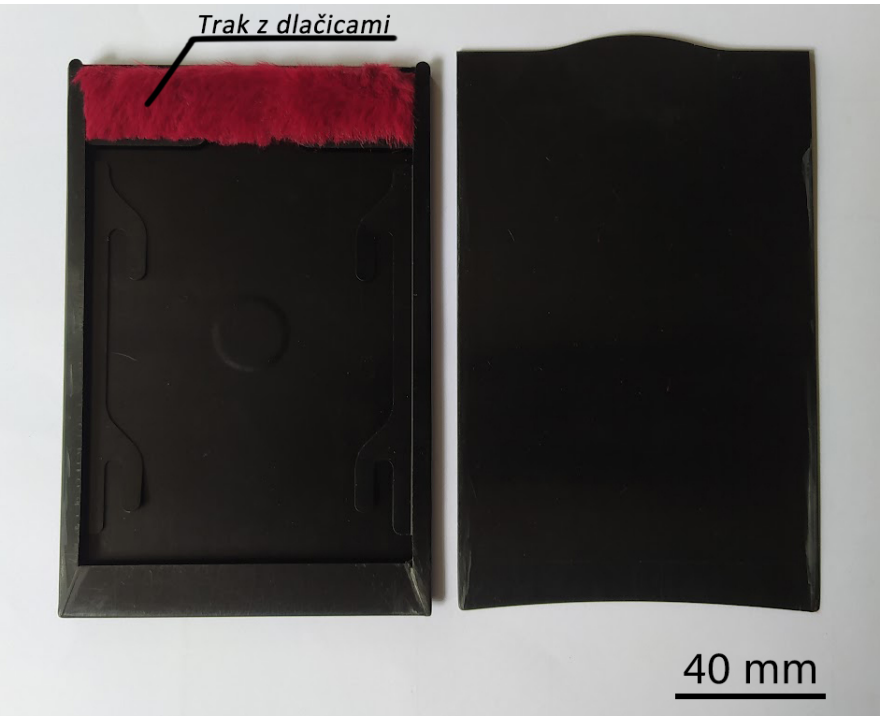
V primeru krivljenja ohišja so nastopile težave pri krivljenju glavnega orodja, saj so bile tam ustvarjene manjše izpraznitve za lažjo izdelavo orodja. Na teh mestih se krivljenje pločevine ni izvedlo do konca in nam je pustilo te vogale zapognjene le delno, kar je povzročilo špranjo pri stiku pločevine.



Slika 4.1: Poškodovana plast eloksacije po krivljenju [10].

Krivljenje pločevine po eloksaciji ni priporočeno, saj je plast eloksacije izredno trda in krhka. Mi smo pri sestavljanju, opravljenem po eloksiranju, potrebovali še en zapogib, pri čemer je plast eloksacije na površini zapogiba razpokala, kar lahko opazimo na sliki 4.1.

Z izjemo teh manjših težav, ki jih bomo lahko odpravili z nadaljnjim delom na tem področju, smo ustvarili kaseto, ki ustreza vsem za uporabo pomembnim karakteristikam. Izdelano kaseto lahko vidimo na sliki 4.2. Dodatna prednost naše kasete glede na



Slika 4.2: Zaključena kaseta z izvlečenim drsnikom [10].

originalno je veliko zmanjšanje njene mase. Naša kaseta ima maso 44 g v primerjavi s staro kaseto, ki ima 104 g. Večina zmanjšanja mase je rezultat izbire aluminijaste pločevine v primerjavi s staro, narejeno iz jeklene pločevine.

4.2 Rezultati s fotografskim medijem

Pri prvem testu svetlobne tesnosti smo ugotovili, da kaseta nezadovoljivo tesni svetlobo. V primeru največjega predora svetlobe smo si pomagali z obliko osvetlenega predela, kot smo to opisali v poglavju 3.7.2. Vse odprtine smo zaprli z ustreznimi rešitvami. Ko svetloba v našo kaseto ni več prodirala, smo ugotovili, da je kaseta ustrezna za nadaljnjo uporabo.

S testom na realnem primeru smo dokazali delovanje kasete in s tem njeno ustreznost. Kaseta je bila uporabljena na terenu, kjer smo fotografirali realni primer. Na sliki 4.3 lahko vidimo fotografijo zajeto v tem testu. Fotografija je bila uspešna, lahko pa vidimo, da je nebo nekoliko preosvetljeno, kar je pri suhih ploščah pogosto, saj v fotoaparat pride iz jasnega neba velika količina ultravijolične svetlobe, ki ta del fotografije preosvetli, vendar to ne pomeni, da je nekaj narobe z našo kaseto.

Slika 4.3: Fotografija, narejena z našo kaseto [10].

5 Diskusija

Pri izdelavi orodja za krivljenje ohišja smo naleteli na težavo s kakovostjo krivljenja, kakor smo to opisali v poglavju 4.1. Kot že opisano, smo v vogalih naredili izpraznitve za lažjo izdelavo orodja. Pri krivljenju na teh mestih nismo mogli pločevine ustrezno zakriviti in stik pločevine ni bil popolnoma ustrezen, saj je ta vseboval špranjo, ki smo jo zaprli med laserskim varjenjem. V prihodnje pri tako zapletenih orodjih ne smemo predvidevati ustreznega krivljenja v takih primerih in že vnaprej izdelati orodja brez takšnih izpraznitev na kritičnih mestih. Do predvidevanja o ustreznem krivljenju tudi ob izpraznitvi smo prišli na podlagi tega, da smo opravili preizkus na "V"in stopničastem orodju, izdelanim za krivljenje vložka. Pri teh preizkusih smo opazili, da dobimo zadovoljiv upogib tudi nekaj mm oddaljen izven orodja. Pri orodju za ohišje in pri krivljenju pride do bolj kompleksnih krivilnih gibov, zaradi česar se krivljenje na teh mestih ni izvedlo zadovoljivo.

Uporabili smo orodja, ki so imela krivilne površine obdelane z rezkalnim strojem in žično erozijo. V primeru rezkalnega stroja pa je bilo izvedeno fino rezkanje, ki je rezultiralo v dokaj gladki površini. V primeru obdelave z žično erozijo pa ta obdelava površine ne pusti popolnoma gladke. V obeh primerih površina ni popolnoma idealna in bi za boljše rezulate ter manjše poškodbe površin, opisanih v poglavju 4.1, morali površine polirati. V našem primeru smo od podjetja, ki nam je eloksiralo izdelke, zahtevali premajhno stopnjo matiranja, zato nam tako teh prask niso popolnoma odpravili. V prihodnje bi lahko naša orodja polirali, od podjetja za eloksiranje pa zahtevali višjo stopnjo matiranja, kar bi rešilo problem prask.

Na površini drsnika se je po nekajkratni uporabi plast eloksiranja nekoliko uničila, to nam pove, da potrebujemo nekoliko debelejšo plast eloksacije. Višja stopnja matiranja pa nam bo to obrabo še nekoliko zmanjšala.

V vložek smo vstavili vzmet, izdelano iz vzmetnega jekla debeline 0,5 mm. Pri uporabi kasete smo opazili, da je taka vzmet nekoliko premehka in nam pri uporabi ne da dobrega občutka. Ta je potreben za suvereno uporabo tudi v popolni temi v primeru, da uporabljamo fotografske filme in druge fotografske medije občutljive na rdečo svetlobo. V prihodnje bi uporabili nekoliko bolj tog material vzmeti ali pa debelejši material enake togosti.

6 Zaključki

V diplomskem delu smo obravnavali snovanje postopka krivljenja in konstrukcijo orodij za namen krivljenja pločevine za izdelavo fotografskih kaset, izdelanih po evropskih standardih. Na osnovi opravljenega dela smo prišli do naslednjih zaključkov:

1. Zasnovali smo natančne 3D modele komponent kasete, in sicer na osnovi že obstoječih kaset in dimenzij določenih po standardu.
2. Glede na izdelane 3D modele komponent smo določili najugodnejše postopke in zaporedja krivljenja pločevine za izdelavo teh komponent.
3. Z ugotovljenim postopkom krivljenja smo konstuirali ustrezna orodja za izvedbo tega.
4. Ugotovili smo, da so bila orodja, izdelana za drsnik, in vložek ustrezno zasnovana, saj so bila krivljenja opravljena uspešno brez večjih težav.
5. Ugotovili smo, da smo pri orodju za ohišje nekatere gibe hoteli prekomerno poenostaviti, saj smo morali naknadno izdelati dve dodatni enostavnejši orodji za uspešno krivljenje. Prav tako pa smo za lažjo izdelavo izdelali izpraznitve, ki so nam povzročale težave pri kakovosti krivljenja.
6. Ugotovili smo, da kaseta ustreza vsem dimenzijskim potrebam in standardom, ter jih tako lahko uporabimo s fotoaparati, izdelanimi za take kasete.
7. Ugotovili smo, da kaseta ustrezno tesni svetlobo ter tako omogoča njeno uporabo pri fotografiranju.

Z izdelavo nove kasete in razvojem postopka njene izdelave smo omogočili obuditev in podporo uporabi velikoformatnih fotoaparatov, izdelanih po evropskih standardih. S tem smo omogočili ohranjanje zgodovine, pri čemer se starejše kasete lahko ohranja, uporablja pa se nove kasete, ki so funkcionalno enake starejšim.

Predlogi za nadaljnje delo

V prihodnje bi lahko še izpopolnili že uporabljena orodja za boljše delovanje teh, predvsem orodje ohišja, s čimer smo imeli še največ težav. V izpraznitve, narejene v orodju, bi lahko lasersko navarili material ter izdelali elektrodo za potopno erozijo ter tako

izžgali potrebno obliko brez potrebe po izpraznitvah, kot je to potrebno pri rezkalnih strojih.

V prihodnje bi lahko zasnovali tudi nova orodja, ki bi uporabila drugačen sistem krivljenja, kot smo ga uporabili sedaj, saj smo lahko opazili, da se ta pločevina preoblikuje zelo lepo.

V naši diplomski nalogi smo se osredotočili na en format fotografskih kaset, narejenih po evropskih standardih, zato bi lahko v prihodnje razvili tudi orodja za krivljenje večjih formatov kaset, saj so same kasete zelo podobno zasnovane.

Naše kasete so zasnovane za fotografiranje na stekla in druge toge medije, v primeru fotografskih filmov pa moramo uporabiti pločevinasti adapter, ki drži film ploščato in na mestu. Lahko bi zasnovali orodje in postopek krivljenja za te in tako tako omogočili fotografiranje filma z našo kaseto.

Literatura

[1] K. Kuzman, ur., *Moderno proizvodno inžinirstvo: priročnik*. Ljubljana: Narodna in univerzitetna knjižnica, 2010.

[2] K. Lange, ur., *Handbook of metal forming*. ZDA: Society of manufacturing Endineers, 1985.

[3] R. Hambli, M. Kreiger in J. Pearce, "Damage prediction in l-bending processes using fem," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology.*, št. januar, str. 12–19, 2003.

[4] N. Dave, *Sheet metal forming*. dostopno na: https://www.slideshare.net/NamanDave/sheet-metal-working-1 [ogled: 16. 12. 2023].

[5] *Opis postopka eloksiranja*, BV MONT d.o.o. dostopno na: https://www.alu-ograje.net/ufaqs/kaj-je-eloksacija-eloksiran-aluminij/ [ogled: 27. 7. 2024].

[6] *Antihalacijska plast*, Prodigum pictures. dostopno na: https://www.prodigium-pictures.com/blog/insight09-halation-on-film-digitally-imitating-it [ogled: 27. 7. 2024].

[7] *Opis postopka prašnega barvanja*, Matija Koritnik s.p. dostopno na: https://koritnik.si/prasno-barvanje/ [ogled: 27. 7. 2024].

[8] *Film proizvajalca FOMA*, FOMA. dostopno na: https://fomaobchod.cz/en/blackwhitenegativefilms/sheetfilms/fomapan100sheets/fomapan1009x12cm50ks%5B11181%5D?ItemIdx=0 [ogled: 31. 1. 2024].

[9] K. Pritschov, *Die Photographische Kamera und ihr Zubehör*. Dunaj: Založba Julius Springer, 1931.

[10] *Lasten arhiv*.

[11] W. F. Carlton, "Plate-holder for photographic cameras," Patent 432 974, 1890, patentna pisarna Združenih držav Amerike.

[12] B. Tymrak, A. Mkaddem in A. Potiron, "Mechanical properties of components fabricated with open-source 3-d printers under realistic environmental conditions," *Materials & Design*, št. 58, 2014.